

فصل

ششم

اتصالات جوشی و پرچی

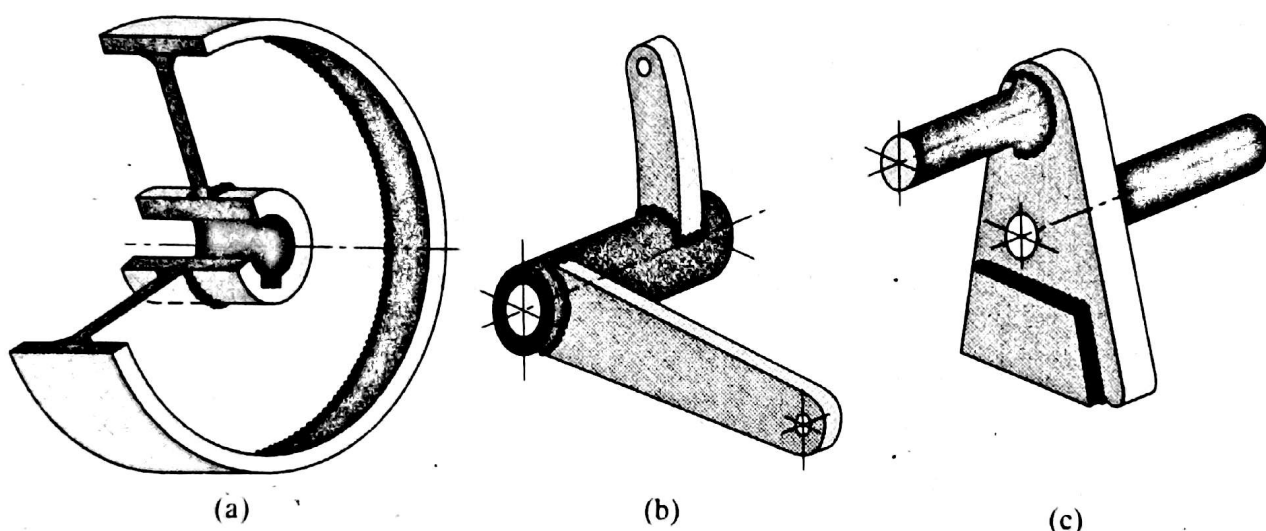
جوش پیوندی است که با ایجاد گرمای موضعی در بین مواد بوجود می‌آید. امروزه جوشکاری نقش مهمی را در سرعت بخشیدن به تولید اجزاء و سوار کردن آنها به روی سازه‌های مهندسی بازی می‌کند. جوشکاری فشاری یا آهنگری آهن جوش قرن‌هاست که عملی می‌شود. استفاده از روشهای جوشکاری با مشعل، قوس الکتریکی و مقاومتی، مربوط به چند سال اخیر است. وسعت فایده این روشهای جدید به سرعت افزایش می‌یابد. برای اتصال دادن اجزای یک سازه، می‌توان از پرچها نیز استفاده کرد. اگرچه در بسیاری موارد، جوشکاری جای پرچکاری را گرفته، لیکن در بعضی موارد رسماً از روش پرچکاری استفاده به عمل می‌آید. تجربه طولانی در این زمینه، قابل اطمینان بودن اتصالات پرچی را تایید می‌کند. فهرست زیر، متغیرها، علائم اختصاری و پیشوندهای به کار رفته در این فصل را نشان می‌دهد

مساحت گلوبی	A	گشتاور $1 \text{ in. lb} = 113 \text{ Nmm}$	M
نیرو	F	مگا پاسکال برابر با	MPa
طرف دور	FS	145 psi یا 1 N/mm^2	
ضریب اطمینان	F_s	نیوتن (نیرو) 0.2248 lb	N
اندازه ساق جوش	h	فشار؛ نیرو بر واحد سطح	p
اینچ 25.4 mm	$in.$	بار یا نیرو	P
گشتاور اینرسی	I	پاسکال؛ برابر با 1 N/m^2	Pa
ژول، نیوتن - متر Nm	J	شعاع	r
گشتاور اینرسی قطبی	J	فاصله مرکز ثقل اتصال تا مرکز جوش یا پرچ	r_l
کیلو (پیشوند)؛ 1000	k	گشتاور؛ گشتاور پیچشی	T
کیلوگرم (جرم) برابر با 2.2046 lb	kg	ضخامت پوسته	t
$1 \text{ lb (mass)} = 0.4536 \text{ kg}$		سیگما، تنش کششی یا فشاری	σ
ضریب تمرکز تنش	K	تنش میانگین	σ_{av}
طول جوش	l	تنش حد تحمل	σ_e
پاند lb		تنش رنج	σ_r
$1 \text{ lb (force)} = 4.4482 \text{ N}$		تنش حد پارگی	σ_{ult}
$1 \text{ lb (mass)} = 0.4536 \text{ kg}$		تنش نقطه تسلیم	σ_{yp}
متر برابر با 39.370 in	m	(تو) تنش برشی	τ
میلیمتر برابر با 0.03937 in	mm	تنش نقطه تسلیم برشی	τ_{yp}
$1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$			
مگا (پیشوند) یک میلیون	M		

۶-۱ تولید اجزاء به روش جوشکاری

بدلیل هزینه کمتر روش جوشکاری، اغلب اجزایی که قبلاً از طریق ریخته‌گری تولید می‌شدند امروزه به روش جوشکاری ساخته می‌شوند. برای ساختن یک قطعه می‌توان تکه‌های مناسبی از یک فولاد ورق نوردگرم را با قیچی آهن بر یا شعله بریده و از طریق جوشکاری بهم اتصال داد. در شکل (۶-۱) چند مجموعه ساخته شده به روش جوشکاری نشان داده شده است. در بعضی موارد، قسمت‌های پیچیده را به روش ریخته‌گری یا پرسکاری می‌سازند، اما ورق‌های تخت را به روش جوشکاری بهم متصل می‌کنند.

قطعاتی که بروش جوشکاری ساخته شده اند معمولاً دارای استحکام زیاد و وزن کمتری هستند. این شرایط برای قسمت‌های متحرک ماشینها و وسائل نقلیه بسیار مناسب است. معمولاً در یک طرح جوشکاری حجم عملیات ماشین‌کاری نسبت به یک طرح ریخته‌گری معادل کمتر است. طرح باید طوری باشد که بتوان با جوشکاری بطور صحیح و دقیق ساخته و سپس دقت آنرا بازبینی کرد.



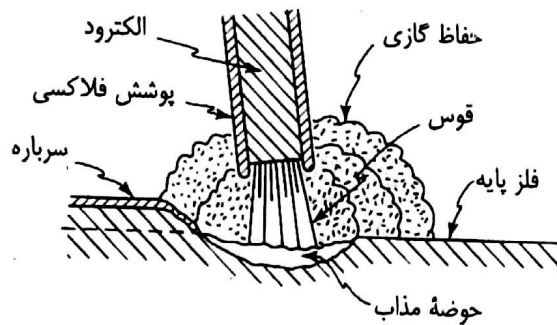
شکل ۶-۱: اجزاء ماشین ساخته شده به روش جوشکاری

۶-۲ جوشکاری ذوبی

در جوشکاری ذوبی گرمای لازمه با شعله اکسی استیلن، یا با قوس الکتریکی بین الکترود و قطعه کار ایجاد می‌شود. لبه‌های قطعات را تا دمای ذوب، گرم می‌کنند و با اضافه کردن ماده پرکننده (ماده سیم جوش) بحالت مذاب، آنها را به هم جوش می‌دهند.

در جوشکاری قوسی، فلز الکترود از یک ماده پر کننده مناسب تشکیل شده است. این الکترود در موقع جوشکاری، ذوب شده و در محل اتصال پر می‌شود، در نتیجه دو فلز را به همدیگر جوش می‌دهد. در جوشکاری قوسی پوششی، الکترود دارای یک لایه ضخیمی از ماده فلاکس (ماده‌ای که جهت بیرون راندن مواد اکسیده و ناخالصی‌ها بکار می‌رود) است. این ماده روی الکترود را پوشانده است. بطوری که در شکل (۶-۲) مشاهده می‌کنید، این ماده در طی عملیات جوشکاری مصرف شده و وظیفه یک ماده فلاکس را انجام می‌دهد.

موقعی که از شعله اکسی استیلن استفاده می‌شود، فلز مذاب توسط لایه خارجی شعله از نفوذ هوا جلوگیری می‌کند. عموماً شعله را بحالت خنثی یا کمی احیاکننده، تنظیم می‌کنند. در جوشکاری بعضی از فلزات توسط گاز، از ماده فلاکس جهت بیرون راندن ناخالصی‌ها از داخل منطقه مذاب استفاده می‌کنند و بدین طریق یک جوش محکم بوجود می‌آورند.



شکل ۲-۶: جوشکاری قوسی با الکتروود پوشش دار

جوشکاری قوسی فلزی را، هم با جریان متناوب و هم با جریان مستقیم می توان انجام داد. اگر حداقل ضخامت جوش حدوداً از $3/8 \text{ in.}$ بیشتر باشد، آنرا در چند لایه متوالی ایجاد می کنند. فلز جوش رسوبی، اغلب دارای ساختار خشن فلز ریخته است.

۳-۶ استحکام جوش های ذوبی

چند نوع جوش همراه با معادلات محاسبه تنش های حاصل از بارگذاری در شکل (۳-۶) نشان داده شده است. ارتفاع h در جوش لب به لب شامل قسمت محدب یا تقویتی a نمی شود. بطوری که نشان داده شده، صفحاتی که ضخامت شان $1/4 \text{ in.}$ یا بیشتر است قبل از جوشکاری باید پخ زنی شوند.

در شکل (۳-۶c) جوش نواری را مشاهده می کنید که بارهای وارد بر آن موازی طول جوش است. تنش های آن در گلوبی یا کوچکترین سطح مقطعی که تحت 45° نسبت به ساق های h قرار دارد حساب می شوند. مساحت گلوبی برابر با $0.707 hl$ است. در این عبارت h طول ساق است. تنش برشی متوسط در مساحت گلوبی

عبارتست از $A = 0.707 hl$ (۱)

$$\tau = \frac{P}{0.707 hl} = 1.414 \frac{P}{hl}$$

تنش برشی در مساحت گلوبی جوش

می توان از معادله معمولی برای تعیین ضریب اطمینان بارهای استاتیک، استفاده کرد.

تنش کششی تسلیم $F_s = \frac{\tau_{yp}}{\tau} = \frac{0.5 \sigma_{yp}}{\tau}$ (۲)

ضریب اطمینان

مثال ۱-۶

یک جوش نواری $1/4 \text{ in.}$ بطول 2 in. بار ثابت 3000 lb را در امتداد طول جوش تحمل می کند. مقاومت تسلیم فلز جوش 50000 psi است. مقدار ضریب اطمینان را حساب کنید.

اطلاعات داده شده: بار وارده برابر با $P = 3000 \text{ lb}$ است؛ ابعاد جوش عبارت است از $h = 1/4 \text{ in.}$ ؛ $l = 2 \text{ in.}$ و تنش نقطه تسلیم ماده برابر با $\sigma_{yp} = 50000 \text{ psi}$ است. فرضها: بار بطور یکنواخت به صورت برشی تحمل می شود. روش حل: از معادلات (۱) و (۲) استفاده می کنیم. جزئیات حل: از معادله (۱) داریم

$$\tau = 1.1414 \times \frac{3000}{(1/4) \times 2} = 8490 \text{ psi}$$

از معادله (۲) داریم

$$F_s = \frac{25000}{8490} = 2.95$$

مثال ۱۴-۶

یک جوش نواری ۶mm بطول ۵۰mm بار ثابت ۱۳۰۰۰ N را در امتداد طول جوش تحمل می‌کند. مقاومت تسلیم فلز جوش ۳۶۰ MPa است. مقدار ضریب اطمینان را پیدا کنید.

اطلاعات داده شده: بار وارده برابر با $P = 13000 \text{ N}$ است؛ ابعاد جوش عبارت است از $h = 6 \text{ mm}$; $l = 50 \text{ mm}$; و تنش نقطه تسلیم ماده برابر با $\sigma_{yp} = 360 \text{ MPa}$ است.

فرضها: بار بطور یکنواخت به صورت برشی تحمل می‌شود.

روش حل: از معادلات (۱) و (۲) استفاده خواهیم کرد.

جزئیات حل: از معادله (۱) داریم

$$\tau = 1.414 \frac{P}{hl} = \frac{1.414 \times 13000}{6 \times 50} = 61.3 \text{ MPa}$$

از معادله (۲) داریم

$$F_s = \frac{0.5 \sigma_{yp}}{\tau} = \frac{0.5 \times 360}{61.3} = 2.94$$

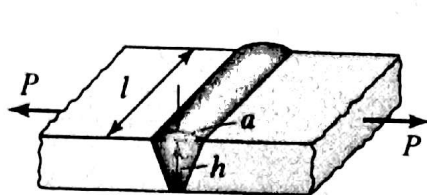
اگر یک جوش نواری به ارتفاع ساق ۱/۸ in و بطول ۱ in با تنش برشی مجاز ۱۱۳۰۰ psi را در نظر بگیریم، بار تحملی آن طبق معادله (۱) بصورت زیر خواهد بود.

$$P = 0.707 hl \tau = 0.707 \times \frac{1}{8} \times 1 \times 11300 = 1000 \text{ lb}$$

این یک روش عملی برای تجسم ظرفیت یک جوش نواری است. بنابراین می‌توان محاسبات مربوط به جوشهایی با عرضها و طولهای مختلف را بطور ذهنی انجام داد.

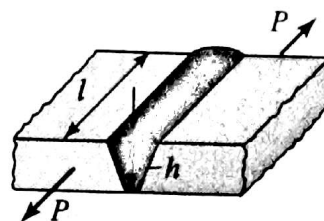
موقعی که بار وارد بر جوش نواری در جهت عمود بر طول جوش است (شکل ۳d-۶) انطباق دقیق صفحات لازم نیست، و این یک امتیاز محسوب می‌شود. وضعیت تنش در سطح مقطع گلوئی (کوچکترین سطح مقطع جوش) بسیار پیچیده است و هیچ معادله دقیق طراحی برای محاسبه آن ارائه نشده است. گلوئی جوش علاوه بر نیروها تحت ممان خمشی نیز قرار می‌گیرد که این واقعیت نیز بر پیچیده شدن تنش آن می‌افزاید.

معمولاً حاصل تقسیم نیرو بر سطح مقطع گلوئی را بعنوان تنش و نتیجه معادله (۱) را بعنوان تنش برشی حساب می‌کنیم.



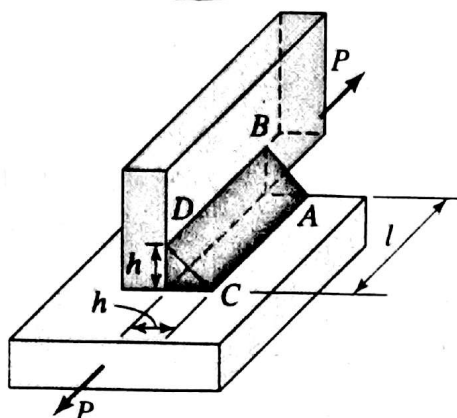
(a) جوش لب به لب تحت کشش

$$\sigma = \frac{P}{hl} \quad \text{با تنش}$$



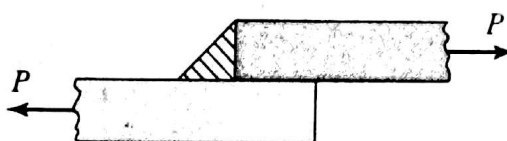
(b) جوش لب به لب تحت برش

$$\tau = \frac{P}{hl} \quad \text{با تنش متوسط}$$



$$\tau \text{ متوسط} = \frac{P}{.707hl} = 1.414 \frac{P}{hl}$$

(c) جوش نواری تحت برش

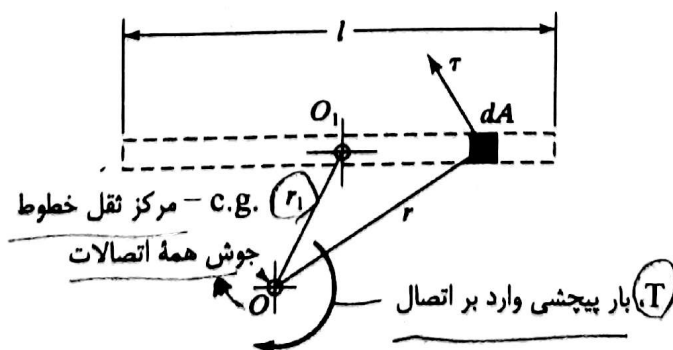


(d) جوش نواری تحت نیروی کششی عمود بر طول جوش

شکل ۳-۶: انواع مختلف جوش‌ها و بارگذاری

۴-۶ جوش‌ها تحت بارهای خارج از مرکز؛ بارهای استاتیک

اگر باری بطور خارج از مرکز بر یک اتصال جوشی وارد شود، اثر گشتاور را نیز باید علاوه بر اثر بار مستقیم در نظر گرفت. حالت تنش در چنین اتصالی پیچیده است و باید از یک عده فرضیات جهت تسهیل موضوع استفاده شود. هرگاه یک اتصال از چند جوش تشکیل شده باشد، معمولاً فرض می‌کنند مقدار تنش گشتاور (تنش ناشی از گشتاور) در هر نقطه‌ای متناسب با فاصله آن از مرکز ثقل گروه جوشها است. فرض کنید جوش شکل (۴-۶) یکی از گروه جوشهایی باشد که مرکز ثقل سطح آنها (سطح جوشها) در نقطه O قرار دارد. تنش گشتاور τ موجود در المانی (یا سطح بی‌نهایت کوچک) از جوش dA بطور عمود بر شعاع r اثر می‌کند. برای محاسبه گشتاور خارجی یا گشتاور T از گشتاور ناشی از تنش τ نسبت به سطح تمام جوشهای اتصال انتگرال گیری می‌کنیم.



شکل ۴-۶: تنش موجود در یک المان مربوط به یک اتصال تحت بار خارج از مرکز

$$T = \int r \tau dA = \int \frac{\tau}{r} r^2 dA = \frac{\tau}{r} \int r^2 dA = \frac{\tau J}{r} \quad ; \quad \tau = \frac{Tr}{J} \quad (3)$$

نسبت τ/r مقداری ثابت است. زیرا (تغییرات تنش) نسبت به r مستقیم فرض شده است. انتگرال $\int r^2 dA$ در معادله (۳) با گشتاور اینرسی قطبی J گروه جوشها نسبت به O جایگزین شده است. برای محاسبه ماکزیمم تنش پیچشی، باید از بزرگترین شعاع r بین مرکز ثقل O و دورترین نقطه از آن استفاده کنیم. با جمع برداری تنش ناشی از بار مستقیم و تنش گشتاور، تنش برآیند بدست می‌آید. موقعی که بارهای وارده ثابت است، معمولاً فرض می‌کنند تنش مستقیم در جوش بطور یکنواخت در تمام مساحت آن پخش شده است.

با استفاده از معادله محور موازی، می‌توان مقدار J جوش را حول محور گذرنده از نقطه O و عمود بر صفحه جوش بدست آورد. برای جوش شکل (۴-۶)، این معادله به ترتیب زیر نوشته می‌شود.

$$J = J_0 + A r_1^2 \quad (4)$$

مساحت A در این معادله عبارت از مساحت گلوله‌ای جوش است. تحت 45° بودن گلوله جوش نسبت به صفحه اتصال در یک جوش نواری، هیچ اثری در مقدار J ندارد. شعاع r_1 فاصله بین مرکز جوش O_1 و مرکز ثقل O گروه جوشها است. علامت J_0 گشتاور اینرسی سطح یک جوش را نسبت به مرکز خودش O_1 نشان می‌دهد. مقدار آن از معادله زیر حساب می‌شود.

$$J_0 = \frac{A l^2}{12} \quad (5)$$

در این معادله نیز، A مساحت گلوله l طول جوش است. با جاگذاری معادله (۵) در معادله (۴) نتیجه می‌شود

$$J = A \left(\frac{l^2}{12} + r_1^2 \right) \quad (6)$$

مقدار J مربوط به هر کدام از خطوط جوش نسبت به O را از معادله (۶) حساب می‌کنیم، سپس نتایج بدست آمده را با هم جمع می‌کنیم تا گشتاور اینرسی کل اتصال بدست آید.

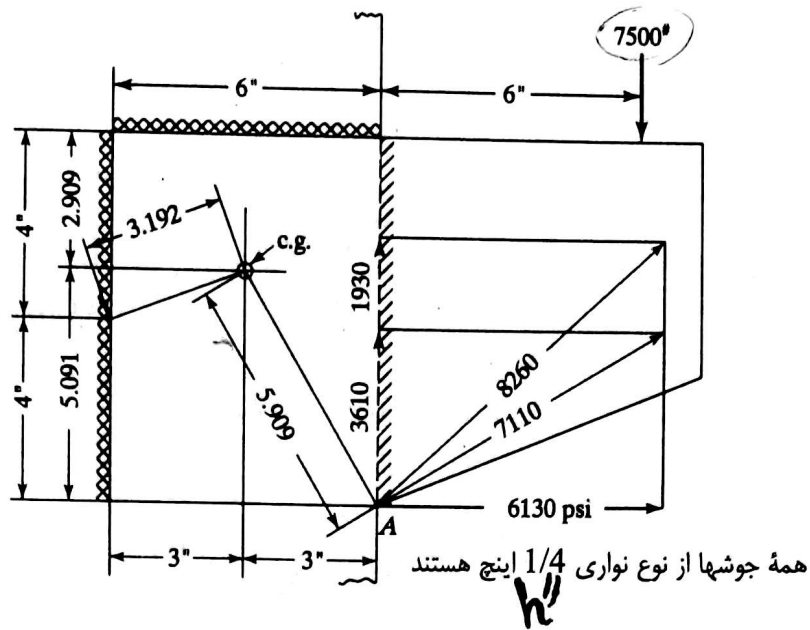
مثال ۲-۶

طاقچه‌ای مطابق شکل (۵-۶) به تکیه‌گاههایش جوش داده شده و تحت بار خارج از مرکز قرار گرفته است. اگر بار وارده ثابت باشد، مقدار تنش ماکزیمم در جوش را حساب کنید. اگر مقاومت تسلیم فلز جوش 50000 psi باشد، مقدار ضریب اطمینان را محاسبه کنید.

اطلاعات داده شده: خواص هندسی در شکل (۵-۶)؛ $\sigma_{yp} = 50000 \text{ psi}$

فرضها: بار وارده ثابت و قطعه متقارن است.

روش حل: از معادلات (۲) و (۶) همراه با فرمول مربوط به تنش مستقیم و تنش برشی پیچشی استفاده می‌کنیم. جزئیات حل: طاقچه را بطور آزاد در نظر بگیرید. بنا به تقارن موجود، مرکز ثقل جوشها در جهت محور x در وسط جوشهای قائم قرار دارد. مرکز ثقل در جهت قائم (مختصه عرض) با گشتاورگیری نسبت به جوش فوقانی بدست می‌آید.



شکل ۵-۶: مثال ۲-۶

$$\bar{y} = \frac{A_1 \bar{y}_1 + A_2 \bar{y}_2 + \dots}{A_1 + A_2 + \dots}$$

$$22\bar{y} = 2 \times 8 \times 4 \rightarrow \bar{y} = 2.909 \text{ in. (از بالا)}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x A_i}{\sum A_i}$$

$$b = 0.707 h = 0.707 \times \frac{1}{4} = 0.1768 \text{ in} \text{ عرض گلوبی}$$

$$A = 0.1768 \times 8 = 1.414 \text{ in}^2 \text{ برای جوش قائم}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i A_i}{\sum A_i}$$

$$r_1 = \sqrt{1.091^2 + 3^2} = \sqrt{10.1903} = 3.192 \text{ in}$$

از معادله (۶) داریم

$$J = 1.4142 \left(\frac{8^2}{12} + 3.192^2 \right) = 21.953 \text{ in}^4$$

برای جوش فوقانی داریم

$$A = 0.1768 \times 6 = 1.061 \text{ in}^2$$

از معادله (۶) داریم

$$J = 1.061 \left(\frac{6^2}{12} + 2.909^2 \right) = 12.159 \text{ in}^4$$

J کل عبارت است از

$$J = 2 \times 21.953 + 12.159 = 56.065 \text{ in}^4$$

مساحت کل عبارت است از

$$A = 2 \times 1.414 + 1.061 = 3.889 \text{ in}^2$$

تنش مستقیم عبارت است از

$$\tau = \frac{7500}{3.889} = 1930 \text{ psi}$$

تنش ماکزیمم در نقطه A بوجود می‌آید.

OA شعاع عبارت است از

$$r = \sqrt{5.091^2 + 3^2} = 5.909 \text{ in.}$$

تنش پیچشی عبارت است از

$$\tau = \frac{Tr}{J} = \frac{7500 \times 9 \times 5.909}{56.065} = 7110 \text{ psi}$$

امتداد این تنش بر OA قائم است. حال آنرا به مولفه‌های نشان داده شده تجزیه می‌کنیم. کل مولفه قائم برابر با $3610 + 1930$ یا 5540 psi است. تنش برایند برابر است با

$$\tau = \sqrt{5540^2 + 6130^2} = 8260 \text{ psi}$$

از معادله (۲) داریم

$$F_s = \frac{0.5 \sigma_{yp}}{\tau} = \frac{25000}{8260} = 3.03$$

در روش قبل فرض بر این بود که تخریب قطعه بر اثر نیروی برشی وارد بر گلولی‌های جوش رخ می‌دهد. این فرض تنها موقعی درست است که الگوی جوش به صورت دایره محیط بر مرکز ثقل باشد. نتایج بدست آمده برای الگوی شبیه شکل (۵-۶) تنها به طور تقریبی صحیح خواهند بود.

مثال ۳-۶

مقدار نیروی استاتیک P در شکل (۶-۶) را حساب کنید. از الکتروود $E 6010$ با ضریب اطمینان ۲ استفاده شده است.

(الف) همه جوشها از نوع نواری با اندازه $1/4 \text{ in.}$ است.
(ب) جوشهای طرف چپ $1/4 \text{ in.}$ و طرف راست $1/2 \text{ in.}$ است.

اطلاعات داده شده: جنس الکتروود از $E 6010$ است؛ اندازه همه خطوط جوش نواری $1/4 \text{ in}$ است؛ اندازه خطوط جوش سمت چپ $1/4 \text{ in}$ و سمت راست $1/2 \text{ in}$ است؛ ضریب اطمینان برابر با $F_s = 2.0$ است. فرضها: بار وارده خارج از مرکز است و بنابراین اثر گشتاور همراه با بار مستقیم باید در نظر گرفته شوند. روش حل: از اطلاعات جدول (۳-۶) و معادلات (۲) و (۶) استفاده می‌کنیم.

جزئیات حل:

(الف) برای الکتروود $E 6010$ از جدول (۳-۶) داریم

$$\sigma_{yp} = 50000 \text{ psi}$$

مساحت گلولی تمام جوشها برابر

$$A = 4 \times \frac{1}{4} \times 6 \times 0.707 = 4.242 \text{ in}^2$$

سپس

$$P = \tau A = \frac{25000}{2} \times 4.242 = 53020 \text{ lb}$$

$$\tau = 0.1572P + 0.0984P = 0.2556P$$

از معادله (۲) داریم

$$0.2556P = \frac{25000}{2} \text{ یا } P = 48900 \text{ lb}$$

یادآور می‌شویم، اگرچه جوشهای قسمت (ب) بزرگتر هستند، اما به دلیل خارج از مرکز بودن، ظرفیت تحمل اتصال عملاً کاهش یافته است. معمولاً بهتر است در طراحی اتصالات جوشی، حالت تقارن را حفظ کنیم.

مثال ۳A-۶

در شکل (۶-۶)، ابعاد بالا را به ترتیب برابر با 150 mm ، 82 mm و 82 mm فرض کنید. جوشهای چپ 6 mm و جوشهای راست 12 mm هستند. اگر از الکتروود E6010 با ضریب اطمینان ۲ استفاده شود، مقدار بار استاتیکی P را حساب کنید.

اطلاعات داده شده: جنس الکتروود E6010 است؛ ابعاد در بالا ذکر شده اند؛ جوشهای سمت چپ 6 mm و سمت راست 12 mm هستند؛ ضریب اطمینان برابر با $F_s = 2.0$ است.
فرضها: بار وارده خارج از مرکز است. بنابراین اثر گشتاور همراه با بار مستقیم باید در نظر گرفته شوند.
روش حل: از اطلاعات جدول (۶-۳) و معادلات (۲) و (۶) استفاده می‌کنیم.
جزئیات حل: از جدول (۶-۳) برای سیم جوش E6010 داریم

$$\sigma_{yp} = 50000 \text{ psi} = 34.5 \text{ MPa}$$

مساحت کلویی هر دو جوش چپ عبارت است از

$$A = 2 \times 6 \times 150 \times 0.707 = 1273 \text{ mm}^2 \text{ (هر دو جوش)}$$

مساحت کلویی هر دو جوش راست عبارت است از

$$A = 2 \times 12 \times 150 \times 0.707 = 2546 \text{ mm}^2 \text{ (هر دو جوش)}$$

مساحت کل عبارت است از

$$A = 3819 \text{ mm}^2$$

گشتاورها در چپ

$$\bar{x} = \frac{21273 \times 75 + 2546 \times 389}{3819} = 284.3 \text{ mm} \text{ (از سمت چپ)}$$

فاصله c.g. تا مرکز عبارت است از

$$\text{چپ} = 284.3 - 75 = 209.3 \text{ mm}$$

$$\text{راست} = 464 - (284.3 + 75) = 104.7 \text{ mm}$$

از معادله (۶) برای چپ داریم

$$J = 21273 \left(\frac{150^2}{12} + 209.3^2 \right) = 58152000 \text{ mm}^4$$

برای جوشهای راست داریم

$$J = 2546 \left(\frac{150^2}{12} + 104.7^2 \right) = 32683000 \text{ mm}^4$$

برای همه جوشها داریم

$$J = 58152500 + 32683000 = 90835000 \text{ mm}^4$$

تنش مستقیم

$$\tau = \frac{P}{3819} = 0.0002618 P$$

بازوی گشتاور بار

$$284.3 - (150 + 82) = 52.3 \text{ mm}$$

تنش پیچی در A

$$\tau = \frac{Tr}{J} = \frac{52.3 \times P \times 284.3}{90835500} = 0.0001637 P$$

کل تنش در A

$$\tau = (0.0002618 + 0.0001637)P = 0.0004255 P$$

از معادله (۲) داریم

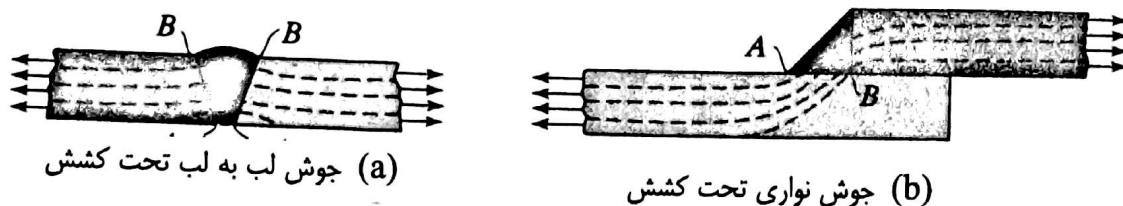
$$0.0004255 P = \frac{17.25}{2} \text{ یا } P = 202700 \text{ N}$$

روش مشروح در این قسمت نمی تواند به عنوان یک روش دقیق برای تحلیل تنش های اتصالات جوشی باشد، اما معلوم می کند هر چه جوش از مرکز دورتر باشد بر مقاومت اتصال در مقابل بارهای گشتاوری افزوده می شود. همچنین در این تئوری، تنش های جوش را در محدوده الاستیک فلز جوش فرض نموده و از اثرات ناشی از تغییر شکل و خمش قطعات مورد اتصال صرف نظر کرده ایم.

۵-۶ تمرکز تنش در جوشها

چون تغییر فرم ناگهانی در جوشها بوجود می آید، لذا موقعی که نیرو از یک قسمت قطعات جوش داده شده به قسمت دیگر عبور می کند، در نقاط تغییر فرم، تمرکز تنش ایجاد می شود. معمولاً در مورد بارهای استاتیکی یا ثابت از اثرات تمرکز تنش صرف نظر می شود. اثرات تمرکز تنش در مورد نیروهای متغیر قابل توجه است. به همین دلیل، آنرا در طراحی قطعات دخالت می دهند.

در موقع جوشکاری باید دقت کرد فلز جوش و صفحات در قاعده جوش لب به لب کاملاً ذوب شود. در غیر اینصورت شکافهای تیزی به طرف داخل، مطابق شکل (۶-۷a)، بوجود می آید و موجب تمرکز تنش شدیدی می شود. همچنین بدلیل گسترش نیرو در قسمت تقویتی یا محدب جوش، تمرکز تنش در نقاط B بوجود می آید. یک جوش نواری در پنجه و پاشنه یعنی در نقاط A، B شکل (۶-۷b) و جایی که نیرو از یک صفحه به صفحه دیگر از طریق خط جوش عبور می کند، دارای تمرکز تنش است. مقادیر ضریب تمرکز تنش در جدول (۶-۱) داده شده است.



شکل ۶-۷: تمرکز تنش در جوشها

جدول ۶-۱: ضرایب تمرکز تنش (K) برای جوشها

محل	K
جوش لب به لب تقویتی	1.2
پنجه جوش نواری عرضی	1.5
انتهای جوش نواری موازی	2.7
اتصال لب به لب T شکل با گوشه‌های تیز	2.0

یک جوش نواری که مطابق شکل (۶-۳c) تحت نیروهای موازی قرار دارد، بدلیل تغییر طول نا برابر صفحات، دارای تمرکز تنش در دو سر خود خواهد بود. صفحه بالایی در نقطه B حداکثر افزایش طول را نشان می‌دهد، زیرا کل بار P را در این نقطه تحمل می‌کند. افزایش طول صفحه پایینی در نقطه A کم است، زیرا این صفحه در نقطه A بار کمتری را تحمل می‌کند. چون جوش دو صفحه را به یکدیگر متصل می‌کند، تغییر شکل ایجاد شده در آن بیشتر از مقدار متوسط (برای جوش) است، و لذا یک افزایش تنش (یا تمرکز تنش) در انتهای جوش بوجود می‌آید. همین استدلال و شرایط در مورد انتهای دیگر جوش نیز صادق است، یعنی صفحه پایینی در C دارای افزایش طول بیشتر و صفحه بالایی در D دارای افزایش طول کمتری است. مشابه همین اثرات تمرکز تنش، در انتهای جوش لب به لب تحت برش نشان داده شده در شکل (۶-۳b) نیز بوجود می‌آید.

۶-۶ تنش محبوس؛ قابلیت جوشکاری

بدلیل انقباض فلز جوش در موقع سرد شدن، تنش‌های بزرگی می‌تواند در آن حبس شود. معمولاً مقدار این تنش‌ها در جهت عرضی حداکثر است. بنابراین، در مواردی که جوش تحت بارهای کششی است، بسیار مضر خواهند بود. مخصوصاً موقعی که بارهای وارده بر جوش تکراری و ضربه ای است، وجود تنش محبوس بسیار خطرناک می‌شود. آزاد سازی تنش‌های محبوس با تابکاری و یا با قرار دادن کل خط جوش تحت تنش حد تسلیم انجام می‌دهند.

لازم است فلز جوش و فلز مورد جوشکاری نرم و غیرشکننده باشد. خواص فلز جوش بستگی به ترکیب سیم جوش دارد. اگر کربن فولادهای مورد جوشکاری حدوداً از ۰.۱۵٪ بیشتر باشد، موقع خنک شدن سریع جوش در هوا، ممکن است سخت شود. برای جلوگیری از اثرات حاصل از سرد شدن جوش توسط قطعات مورد جوشکاری، قبل از شروع جوشکاری آنها را تا دمای $600^{\circ}F - 1500^{\circ}F$ گرم می‌کنند. برای اعاده داکتیلیته یا نرمی اولیه قطعات مورد جوشکاری بعد از جوش دادن، آنها را تابکاری می‌کنند. خواص جوش ذوبی بعضی از فلزات و آلیاژهای پر مصرف، در جدول (۶-۲) آمده است.

جدول ۲-۶. قابلیت جوشکاری فلزات و آلیاژهای مختلف

فلز یا آلیاژ	گاز	قوس	فلز یا آلیاژ	گاز	قوس
فولادهای کربن			آلیاژهای منگنز	A	هیچ
۱- فولاد کربن با کربن کم و متوسط	A	A	مس و آلیاژهای مس		
۲- فولاد پرکربن	B	A	۱- مس بی اکسید	A	B
۳- فولاد ابزار	B	B	۲- پیچ الکترولیتی و دریایی	B	A
فولاد ریخته؛ فولاد کربن ساده	A	A	۳- برنز تجاری؛ برنج قرمز برنج نامرغوب؛ و فلز انس	A	B
چدن خاکستری و آلیاژی	A	B	۴- برنج فنی، دریایی، زرد و تجاری	A	B
آهن چکش خوار	B	B	۵- فلز ماتنز، مفرغ توبین؛ برنج دریایی و مفرغ منگنز دار	A	B
فولادهای کم آلیاژی با مقاومت کششی زیاد			۶- نقره نیکل دار	A	B
۱- $Ni-Mo$ و $Ni-Cr-Mo$	B	B	۷- مفرغ فسفردار؛ فلز نا قوس و مفرغ یاتاقان	A	A
۲- فولادهای دیگر با ترکیبات معمولی	A	A	۸- مفرغ آلومینیوم دار	B	A
فولادهای بی لکه			۹- مس برلیم دار		A
۱- فولاد کروم	B	A	نیکل و آلیاژهای نیکل	A	A
۲- فولاد کروم - نیکل	A	A	سرب	A	هیچ
آلومینیوم					
۱- آلومینیوم خالص تجاری	A	A			
۲- آلیاژ $Al-Mn$	A	A			
۳- آلیاژهای $Al-Mg-Mn$ و $Al-Si-Mg$	B	A			
۴- آلیاژهای $Al-Cu-Mg-Mn$	هیچ	B			

تنش‌های محبوس ناشی از جوشکاری در چدن خاکستری و چدن ریخته آلیاژی را می‌توان، با گرم کردن آنها قبل جوشکاری و سرد کردن آهسته آنها بعد از جوشکاری، حذف کرد. قطعات ریخته فولاد کربن ساده و آلیاژی را به همان روش جوشکاری قطعات فولاد با ترکیبات مشابه، جوشکاری می‌کنند. تنها موقعی قطعات با سرد شدن در هوا سخت می‌شوند که کربن آنها به اندازه کافی زیاد باشد. در جوشکاری آلومینیوم و مس، موقعی که یکنواخت بودن دقیق رنگ لازم است، از تسمه‌های آلومینیومی یا مسی (از جنس خود قطعه کار) به عنوان ماده پرکننده استفاده می‌کنند.

در موقع جوشکاری آلومینیوم، از مواد فلاکس جهت بیرون راندن پوشش اکسیدی ماده مورد جوشکاری و ماده پرکننده از داخل منطقه مذاب، استفاده می‌شود. بعد از اتمام عملیات جوشکاری، ماده فلاکس را از روی قطعه کار و جوش، تمیز می‌کنند تا خوردگی بوجود نیاید. زیرا دمای جوشکاری فلزات آلومینیوم و منگنز مادون نور قابل رویت است، لذا تشخیص دما در حین عملیات جوشکاری برای یک کارگر مشکل است. در دماهای بالا، این آلیاژها ضعیف هستند و تمایل به گسیختگی دارند. به همین دلیل، موقع جوشکاری آنها، از تکیه‌گاه مناسب استفاده می‌شود.

کنسک جوشکاری
مقدار حداقل مقاومت کششی

اتصالات جوشی و پرچی

۳۱۶

طراحی اجزاء ماشین

۱- تخت افقی عمودی
۲- جوش نواری تخت افقی
۳- جوش تخت عمودی

۶-۷ الکترودهای جوشکاری

برحسب شرایط مختلف جوشکاری در ساختمانها و ماشین آلات، انواع مختلفی از الکترودها استاندارد شده‌اند. خواص مربوط به استحکام و داکتیلیته انواع مختلفی از این الکترودها در جدول (۶-۳) آمده است. سیستم شماره گذاری بر اساس حرف E و چهار رقم بوجود آمده است (رقم آخر گروه متغیرهای مربوط به تکنیک جوشکاری، مانند منبع جریان و کاربرد آن را مشخص می‌کند. (رقم ما قبل آخر وضعیت جوشکاری را مشخص می‌کند، مثلاً رقم ۱ معلوم می‌کند که وضعیت جوشکاری بصورت تخت، افقی عمودی و یا از نوع جوش اورهد است. رقم ۲ مربوط به وضعیتهایی از قبیل جوش نواری تخت و افقی می‌شود. رقم ۳ تنها به جوش تخت مربوط می‌شود. (دو رقم سمت چپ مقدار تقریبی مقاومت کششی را بر حسب هزار پاند بر اینچ مربع مشخص می‌کند.

قطر الکترودهای جوشکاری موجود در بازار از $\frac{1}{16}$ تا $\frac{5}{16}$ اینچ است.

جدول ۶-۳، مقاومت کششی و نقطه تسلیم فلز پرکن برای الکترودهای گوناگون AWS.

(ANSI / AWS Code D1.1 - 94)

AWS شماره الکتروده	مقاومت کششی، حداقل	نقطه تسلیم، حداقل
	kpsi (MPa)	kips (MPa)
E60XX	62 (425)	50 (345)
E70XX	70 (480)	57 (390)
E80XX	80 (550)	68 (470)
E100XX	100 (690)	87 (600)
E110XX	110 (760)	97 (670)

$\frac{K_b}{in^2}$

جدول ۶-۴، رده بندی الکترودها

کاربرد اصلی	نفوذ	رده بندی
خواص مکانیکی خوب، به ویژه موقع انجام جوشکاری‌های چندگذری (مولتی پاس)، مانند جوشکاری تاسیسات ساختمانی، پل‌ها، ظروف تحت فشار و سیستم لوله کشی	عمیق	E6010 E6011
مناسب برای جوشهای نواری افقی یک گذری (single-pass) با سرعت بالا؛ به ویژه برای مواردی که انطباق غیردقیق نیاز است مناسب می‌باشد.	متوسط	E6012
طراحی شده برای جوشکاری فلزات با کیفیت بالا	متوسط	E6013
برای جوشهای نواری افقی در مقاطع بزرگ و تولید انبوه مناسب است.	عمیق متوسط	E6020
الکتروده پودر آهن؛ مناسب برای کار سریع و آسان	متوسط	E6027

خواص کاربردی چند از الکترودها در جدول (۶-۴) آمده است. انتخاب الکتروده مناسب برای یک کاربرد معین را باید به‌عهده یک فرد با تجربه در امر جوشکاری گذاشت.

۸-۶ طراحی برای بارهای نوسانی

موقعی که بار متغیر است، محاسبات طراحی مطابق روش‌های مشروح در فصل ۴ انجام می‌گیرد. این روشها در مثالهای (۴-۶) و (۵-۶) ارائه شده اند.

مثال ۴-۶

بار وارده بر جوش لب به لب شکل (۳a-۶) بطور پیوسته بین ۱۰۰۰۰ و ۴۰۰۰۰ lb نوسان می‌کند. ضخامت صفحات ۱ in. و ضریب اطمینان ۲.۵ است. از الکتروود E6010 استفاده شده است. حد تحمل جوش را برابر با حد تحمل یک سطح حاصل از آهنگری، فرض کنید. مقدار طول لازم برای جوش را پیدا کنید.

اطلاعات داده شده: جنس الکتروود از E6010 است؛ بارگذاری میان ۱۰۰۰۰ و ۴۰۰۰۰ lb نوسان می‌کند؛ ضخامت ورقها ۱ in. است؛ حد تحمل معادل با حد تحمل سطح حاصل از آهنگری است؛ ضریب اطمینان برابر با $F_s = 2.5$ است.

فرضها: روش تخریب از نوع خستگی است. بنابراین از روشهای فصل ۲ باید استفاده کنیم.
روش حل: از خط گودمن در فصل ۴، شکل (۲۶-۴)، و جداول (۳-۶) و (۱-۶) استفاده می‌کنیم.
جزئیات حل: از جدول (۳-۶) برای E6010 داریم

$$\sigma_{ult} = 62000 \text{ psi}$$

از شکل (۲۶-۴) داریم

$$\sigma_e = 16000 \text{ psi}$$

از جدول (۱-۶) داریم

$$K = 1.2$$

بارگذاری داده شده به صورت زیر است

$$P_{av} = 25000 \text{ lb} ; \sigma_{av} = \frac{25000}{1 \times l}$$

$$P_r = 15000 \text{ lb} ; \sigma_r = \frac{15000}{1 \times l}$$

از خط گودمن در فصل ۴ داریم

$$\left[\frac{\sigma_{av}}{\sigma_{ult}} + \frac{K\sigma_r}{\sigma_e} = \frac{1}{F_s} \right] \quad \text{معادله گودمن}$$

$$\frac{25000}{62000} + \frac{1.2 \times 15000}{16000} = \frac{1}{2.5}$$

$$\frac{l}{l} (0.403 + 1.125) = 0.40$$

$$l = \frac{1.528}{0.40} = 3.82 \text{ in.}$$

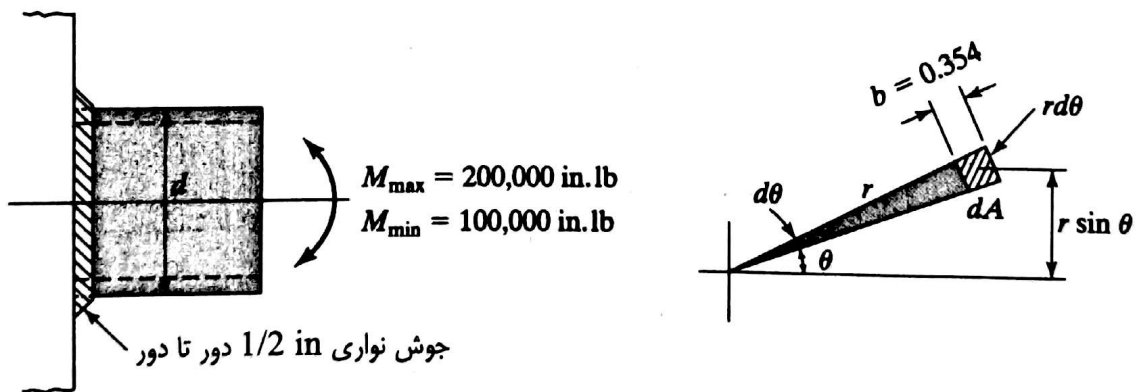
در مثالهایی که تاکنون حل کردیم، گشتاور پیچشی یا گشتاور در صورت وجود، در صفحه خطوط جوش قرار داشت. اما در بعضی موارد، گشتاور ممکن است در امتداد قائم بر خطوط جوش باشد. در این گونه موارد، به جای J ، گشتاور اینرسی I را حساب می‌کنیم و تنش را با کاربرد معادله خمش معمول به دست می‌آوریم. این موضوع در مثال ۵-۶ تشریح شده است.

مثال ۵-۶

یک لوله کوتاه جدار ضخیم مطابق شکل (۸-۶) به تکیه‌گاهی جوش داده شده است. بار وارده بین مقادیر داده شده بطور پیوسته نوسان می‌کند. فرض کنید از الکتروود E6010 استفاده شده باشد. ضریب اطمینان ۴ است. فرض کنید حد تحمل برای جوش، برابر با حد تحمل مربوط به یک سطح حاصل از آهنگری باشد، برای تحمل بار وارده، مقدار قطر d باید چقدر باشد.

اطلاعات داده شده: الکتروود از جنس E6010 است؛ خواص هندسی در شکل (۸-۶) ارائه شده است، بار وارده مطابق شکل (۸-۶) نوسان می‌کند. حد تحمل معادل با حد تحمل مربوط به سطح آهنگری شده است؛ ضریب اطمینان برابر با $F_S = 4.0$ است.

فرضها: روش تخریب از نوع خستگی است. بنابراین از روشهای فصل ۴ باید استفاده کنیم.
روش حل: از خط گودمن فصل ۴، شکل (۲۶-۴)، و جداول (۱-۶) و (۳-۶) استفاده می‌کنیم.
جزئیات حل: عرض گلوبی عبارت است از



شکل ۸-۶: مسئله ۵-۶

$$b = 0.707 h = 0.707 \times 0.5 = 0.354 \text{ in}$$

عرض گلوبی جوش

مساحت المان برابر است با:

$$\begin{aligned} I &= 2 \int_0^\pi (r \sin \theta)^2 dA = 2r^2 \int_0^\pi \sin^2 \theta b r d\theta \\ &= 2br^3 \int_0^\pi \frac{1}{2}(1 - \cos 2\theta) d\theta = br^3 \left(\theta - \frac{1}{2} \sin 2\theta \right)_0^\pi \\ &= \pi b r^3 = 0.354 \pi r^3 = 1.112 r^3 \end{aligned}$$

$$M_{av} = 150000 \text{ in.lb} ; M_r = 50000 \text{ in.lb}$$

$$a_{av} = \frac{M_{av} r}{I} = \frac{150000 r}{1.112 r^3} = \frac{134900}{r^2}$$

$$\sigma_r = \frac{1}{3} \sigma_{av} = \frac{44960}{r^2}$$

از جدول (۶-۱) داریم

$$K = 1.5$$

از جدول (۶-۳) داریم

$$\sigma_{ult} = 62000 \text{ psi}$$

از شکل (۴-۲۶) داریم

$$\sigma_e = 16000 \text{ psi}$$

از خط گودمن فصل ۴ داریم

$$\frac{\sigma_{av}}{\sigma_{ult}} + \frac{K \sigma_r}{\sigma_e} = \frac{1}{F_s}$$

$$\frac{134900}{62000 r^2} + \frac{1.5 \times 44960}{16000 r^2} = \frac{1}{4}$$

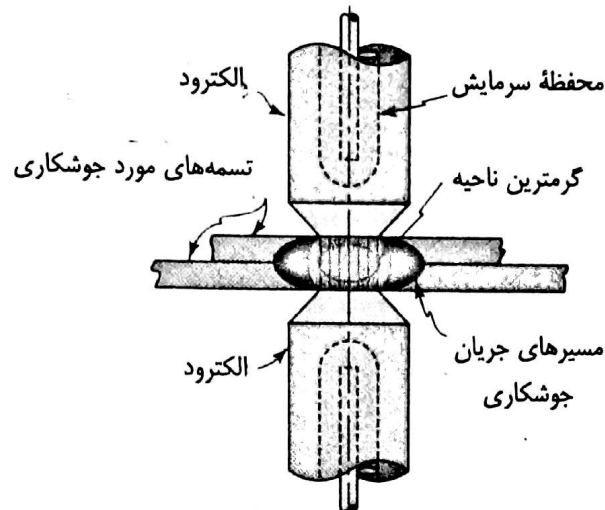
$$\frac{1}{r^2} (2.176 + 4.215) = 0.25$$

$$r^2 = \frac{6.391}{0.25} = 25.56$$

$$r = 5.05 \text{ in}; d = 10.10 \text{ in}$$

۶-۹ جوشکاری مقاومتی

در جوشکاری مقاومتی، از نقطه مورد جوشکاری جریان زیادی عبور می‌کند. مقاومت الکتریکی فلزات در مقابل جریان باعث می‌شود دمای فلزات سریعاً افزایش یابد و آنها را بصورت پلاستیک در آورد، و با وارد کردن فشار مکانیکی توسط الکترودها، به هم جوش بخورند. در واقع، این فشار باعث به هم پیوستن کامل قطعات می‌شود. جریان متناوب زیاد، با یک ترانسفورماتور کاهنده مناسب با ولتاژ کم تولید می‌شود. نوک الکترودهای مسی دستگاه با آلیاژهای سخت‌تر پوشیده شده است. برای اینکه گرمای ایجاد شده در نقطه لازم متمرکز شود، باید مقاومت الکتریکی بین الکترود و قطعه کمتر از مقاومت بین سطوح مورد جوشکاری باشد.



شکل ۹-۶: نمودار شماتیکی نقطه جوش

نقطه جوش یک نوع جوش مقاومتی است که در آن از الکترودهای استوانه‌ای استفاده می‌شود. سطح تماس این الکترودها تقریباً برابر با اندازه مطلوب برای جوش است. بطوری که در شکل (۹-۶) ارائه شده، یک محفظه در الکترودها برای جریان آب خنک کننده تعبیه شده است. آب از گرم شدن بیش از حد الکترودها جلوگیری می‌کند و عمر آنها را افزایش می‌دهد. فشار وارد بر الکترودها باید برحسب ضخامت و استحکام قطعات مورد جوشکاری تنظیم گردد. نمودار (۱۰-۶) امکان انجام نقطه جوش را در مورد انواع فلزات و آلیاژها نشان می‌دهد. برای انجام یک جوشکاری سالم، باید سطوح فلز مورد جوشکاری را تمیز کنیم. به ویژه، پیش از نقطه جوش کردن آلومینیوم، باید پوشش اکسیدی آن به روش مکانیکی یا شیمیایی پاک شود.

	Iron	Stainless Iron	Allegheny Metal	Cobalt Steel	Nickel	Nichrome	Monel Metal	Nickel Silver	Brass	Bronze	Manganin	Everdur	Copper	Aluminum	Magnesium	Molybdenum	Lead	Tin	Cadmium	Zinc	*Galvanized Iron	*Tin Plate	*Chromium Plated Steel	*Nickel Plated Steel
Iron	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Stainless Iron	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Allegheny Metal	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Cobalt Steel	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Nickel	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Nichrome	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Monel Metal	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Nickel Silver	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Brass	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Bronze	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Manganin	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Everdur	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Copper	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Aluminum	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Magnesium	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Molybdenum	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Lead	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Tin	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Cadmium	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Zinc	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
*Galvanized Iron	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
*Tin Plate	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
*Chromium Plated Steel	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
*Nickel Plated Steel	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

*In the course of spot welding coated materials, the coatings frequently dissolve in the other metals present or burn away.

شکل ۱۰-۶: نمودار نقطه جوش برای انواع ترکیبات فلزی

جوش درز شبیه نقطه جوش است، با این تفاوت که در این نوع جوشکاری از دیسک‌هایی که جنسشان از آلیاژ مسی است استفاده می‌شود. قطر این دیسک‌ها می‌تواند 6-9 in باشد. قطعه کار را بین الکترودها حرکت می‌دهند و با تغذیه جریان پریودیک، نقطه جوش‌هایی با فواصل مساوی در قطعه کار ایجاد می‌کنند. حتی می‌توان نقطه جوش‌ها را بقدری نزدیک به هم ایجاد کرد که روی هم افتاده و در مقابل نفوذ سیالات آب بند باشند.

۱۰-۶ انواع دیگر جوشکاری

(الف) جوشکاری سرد بعضی از فلزات، به ویژه، آلومینیوم و مس را می‌توان با اعمال فشار موضعی زیاد، جوش داد. در این روش با دادن حرکت جانبی به فلزات لایه اکسیدی سطح آنها را پاک می‌کنند، و سطح کاملاً برهنه آنها را در تماس با یکدیگر قرار می‌دهند.

(ب) جوشکاری با هیدروژن اتمی در این روش، مولکولهای هیدروژن را از میان قوس جوشکاری عبور داده و به اتم‌های هیدروژن تجزیه می‌کنند. اتم‌های هیدروژن با قطعه کار سرد برخورد کرده و به مولکولهای هیدروژن تبدیل می‌شوند. طی این تبدیل، گرمای زیادی به قطعه کار داده شده و باعث جوش خوردن آن می‌شود.

(ج) جوشکاری با اشعه الکترونی در این روش، یک باریکه الکترونی با سرعتی معادل نصف سرعت نور در ناحیه کوچکی از قطعه کار متمرکز می‌شود. قطعه کار با سرعت به درجه حرارت ذوب رسیده و قسمتهای مورد نظر به هم جوش می‌خورند. این کار باید در خلاء انجام بگیرد.

(د) جوشکاری ورای صوتی قطعات مورد جوشکاری را به هم بسته و آنها را در جهت سطح مشترکشان با فرکانس زیاد مرتعش می‌کنند. طی این عمل، تغییر شکل‌های پلاستیک موضعی بوجود می‌آید. لایه اکسیدی و دیگر لایه‌های سطحی فلزات مورد جوشکاری شکسته و از بین می‌روند، و در نتیجه اتصال فلزی بوجود می‌آید.

(ه) جوشکاری اصطکاکی قطعه کار استوانه‌ای را به انتهای شفت یک چرخ لنگر متصل کرده و با سرعت زیاد به دوران درمی‌آورند، سپس موتور محرک را خاموش می‌کنند. قطعه مورد جوشکاری را ثابت نگهداشته و بطور محکم به قطعه کار استوانه‌ای فشار می‌دهند. طی این عمل، سطح تماس دو قطعه به دمای جوشکاری می‌رسد و چرخ لنگر از حرکت باز می‌ایستد، و در نتیجه سرد شدن، دو قطعه به هم جوش می‌خورند.

(و) سخت سازی سطح در این روش، قسمتی از یک فلز را که بر اثر کار ساییده و گود شده، با یک ماده آلیاژی پر می‌کنند. همچنین با این کار، سطوح محافظی در روی قطعات بوجود می‌آورند که در مقابل سایش، ضربه، حرارت یا خوردگی مقاومت کند.

۱۱-۶ لحیم کاری و زردجوشکاری (جوشکاری با برنج)

بسیاری از فلزات ریخته و غیر ریخته را می‌توان به روش لحیم کاری و زردجوشکاری به هم جوش داد. سیم لحیم‌های نرم از آلیاژ قلع - سرب با نقطه ذوب کم تشکیل ساخته می‌شوند. سیم لحیم‌های سخت شامل سیم‌های نقره‌ای و آلیاژهای زردجوشکاری با ترکیبات و نقطه ذوب‌های مختلف هستند. هم در لحیم کاری و هم در زردجوشکاری، قطعات را تا دمایی که از نقطه ذوب فلز لحیم یا فلز زردجوشکاری بالاتر و از نقطه ذوب قطعات کمتر است گرم می‌کنیم. اثر ترکندگی سیم لحیم، آنرا در تماس نزدیک با سطوح مورد اتصال قرار می‌دهد. اگرچه در بعضی موارد، فلز لحیم (سیم لحیم) با فلز قطعه کار ترکیب شده و آلیاژ تشکیل می‌دهد، اما در حالت کلی، می‌توان گفت سیم لحیم بعد از سرد شدن، نقش چسب متصل کننده دو قطعه را بازی می‌کند. بطور کلی هر چه اثر ترکندگی فلز لحیم بیشتر باشد، به همان نسبت استحکام اتصال بیشتر خواهد بود.

سطوح مورد لحیمکاری باید تمیز شده و توسط ماده فلاکس (که در دمای لحیم کاری بصورت مایع است) پوشانده شود. فلاکس هر گونه ماده اکسیدی را حل کرده و از عمل اکسیداسیون در حین گرم شدن قطعات جلوگیری می‌کند.

جدول ۵-۶: ترکیبات و کاربردهای آلیاژهای لحیم کاری و زردجوشکاری

لحیم‌های نرم				
کاربردها	نقطه جریانی بر حسب °F	نقطه ذوب بر حسب °F	Pb	Sn
لحیم مرغوب؛ دارای دمای نقطه جریانی	372	361	40	60
لحیم پرمصرف برای کاربردهای عمومی	421	361	50	50
برای اتصالات تر؛ برای رادیاتور اتومبیلها و سیستمهای گرمایش	453	361	60	40
لحیم نامرغوب؛ برای پرکردن گودی‌ها و درزها در اتومبیل	486	361	70	30
اجسام	523	361	80	20

لحیم‌های نقره					
کاربردها	نقطه جریانی بر حسب °F	نقطه ذوب بر حسب °F	Zn	Cu	Ag
لحیم‌های با نقره کم برای لحیم کاری فولاد بی لکه نتایج خوبی به دست می‌دهند؛ در این نوع لحیم کاری اعمال فشار باعث به وجود آمدن اتصالات بهتر می‌شود.	1600	1510	38	52	10
لحیم با حداقل نقره مناسب برای اتصالات برنجی	1500	1430	35	45	20
Cd 18 و لحیم کاری‌های عمومی به کار می‌رود؛ برای لحیم کردن فلزات ناهم جنس مناسب است.*	1175	1160	16.5	15.5	50
لحیم‌های پر نقره برای لحیم کاری مس به ویژه مقاطع نازک آن مناسب هستند.	1325	1280	15	20	65

آلیاژهای گوناگون زردجوشکاری					
کاربردها	نقطه ذوب °F	Cu	Sn	Zn	آلیاژ
آلیاژ زردجوشکاری برای کاربردهای عمومی	1595 1620	55 53		بقیه	آلیاژ زردجوشکاری
برای جوشکاری محکم اکسی استیلین فولادها، چدن، مس و آلیاژهای نیکل	1625	بقیه	0.50 1.50	38 43	مفرغ توپین
منگنز 0.50-0.75؛ سخت و مقاوم به سایش	1600	بقیه	0-1.5	38 43	مفرغ منگنزدار
Ni 10؛ آلیاژ مقاوم برای کاربردهای عمومی	1700	47		43	آلیاژ Cu-Ni-Zn

* آلیاژ سهل الجریان (ساخته هندی وهارمان)

این ماده بر اثر خاصیت جذب موبینگی به داخل محل اتصال کشیده می‌شود. موقعی که دمای لحیمکاری فرا می‌رسد، فلز لحیم نیز بر اثر خاصیت موبینگی به داخل محل اتصال کشیده شده و جای فلاکس را می‌گیرد. برای

اینکه این عمل انجام بگیرد، باید سطوح را بسیار نزدیک به هم قرار دهیم. هرچه سطوح مورد لحیم کاری نزدیکتر باشند، اثر موینگی بیشتر می‌شود. اما در عوض، برای ایجاد حالت سیلان کافی در فلز لحیم، دمای زیادتری لازم می‌شود. در عمل، اگر فاصله سطوح 0.003 یا 0.004 in. باشد، نتیجه کار رضایت بخش خواهد بود.

استحکام یک اتصال لحیمی بستگی به عوامل زیادی از قبیل مرغوبیت سیم لحیم، ضخامت اتصال، صافی سطوح، نوع ماده لحیم کاری، دمای لحیم کاری، و مدت تماس فلز لحیم و قطعه کار در دمای لحیم کاری دارد. مقدار حداکثر تنش برشی برای اتصالات لحیم نرم در مورد مس 6000 psi ، در مورد فولاد نرم 5000 psi و برای برنج 4000 psi در نظر گرفته می‌شود. این مقادیر، مقادیر نهایی هستند. خواص فلزات نرم در جدول (۵-۶) آمده است.

این آلیاژها در دمای ذوب، شروع به ذوب شدن می‌کنند، و در نقطه سیلان، جوش آنها تکمیل می‌شود. دمای ذوب سیم لحیم‌های نقره‌ای بالا است. بطوری که در موقع عملیات لحیم کاری با این نوع سیم لحیم قطعات مورد اتصال تا دمای سرخ شدن گرم می‌شوند. آهن ریخته و آهن غیر ریخته (آهن جوش) و فولادهای کربن می‌توانند به همدیگر یا به برنج، مس، نیکل، نقره، مونل (یک نوع آلیاژ پایه نیکل) و آلیاژهای غیر آهنی دیگر اتصال داده شوند. سیم لحیم‌های نقره چکش‌خوار و نرم (داکتیل) برای بارهای ارتعاشی و ضربه‌ای مناسب هستند. همچنین مقاومت آنها در مقابل خوردگی خوب است. استحکام کششی سیم لحیم نقره‌ای ریخته‌ای از 40000 تا 60000 psi تغییر می‌کند.

نحوه آماده سازی و فاصله قطعات مورد لحیم کاری همانند سیم لحیم‌های نرم است. سیم لحیم کاری را می‌توان با شعله یا یک سیم‌پیچ اندکسیونی فرکانس زیاد گرم کرد.

زردجوشکاری نوعی لحیم کاری است که در آن از آلیاژهای مس و روی استفاده می‌شود. خواص چند نوع آلیاژ مورد استفاده در زردجوشکاری در جدول (۵-۶) داده شده است. از برنز به عنوان سیم جوش در کارهای تعمیراتی و پر کردن حفره‌های آهن ریخته بطور گسترده استفاده می‌شود. استحکام کششی آن حدوداً 50000 psi است. از برنز منگنز نیز در این موارد، بخصوص در جایی که لازم است فلز پر کننده در مقابل سایش مقاومت کند استفاده می‌شود.

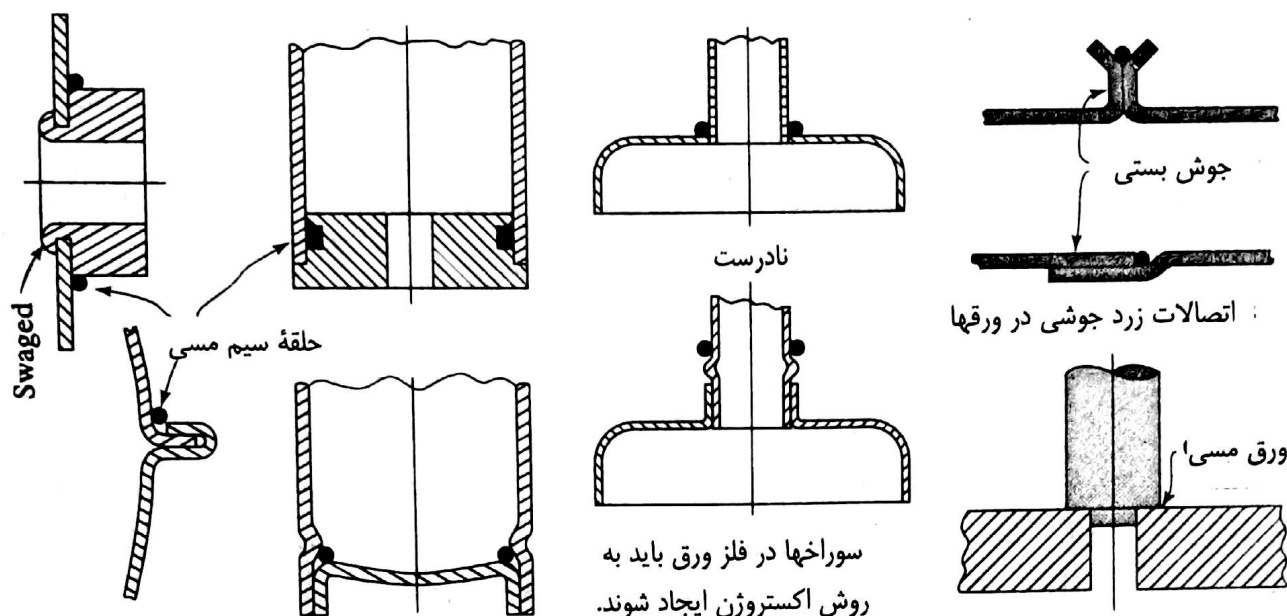
آلیاژهایی با دمای ذوب پایین‌تر از دمای ذوب آلومینیوم، جهت زردجوشکاری قطعات آلومینیومی وجود دارد. در جوشکای ذوبی، دمای زیاد باعث می‌شود ناخالصی‌ها توسط فلاکس به بیرون از منطقه مذاب هدایت شوند. اما در مورد زردجوشکاری، لایه اکسیدی را باید بطور مکانیکی برداشت و سطح مورد زردجوشکاری را تمیز کرد.

۱۲-۶ زردجوشکاری کوره‌ای

زردجوشکاری کوره‌ای یا مسی، یک روش بسیار مناسب برای جوش دادن قطعات با مس خالص است. قطعات مورد جوشکاری را روی هم سوار کرده و حلقه‌ای از مس خالص را مطابق شکل (۱۱-۶) در محل اتصال قرار می‌دهند، سپس آنها را داخل کوره‌ای رد می‌کنند. مس در دمای 1980°F ذوب شده و بر اثر جذب موینگی به محل اتصال کشیده می‌شود. هرچه انطباق قطعات مورد جوشکاری سفت‌تر باشد به همان نسبت استحکام جوش بیشتر می‌شود. برای قطعات فولادی، فاصله قطعات در انطباقات شل تا پرسی سبک حدوداً برابر با 0.001 in. انتخاب می‌شود.

در بعضی موارد، قطعاتی را که معمولاً از طریق ریخته‌گری، آهنگری و یا ماشین کاری ساخته می‌شوند می‌توان با

زردجوشکاری اجزاء پرس شده آنها، پیچها و لوله‌ها به یکدیگر، ساخت. بدین ترتیب می‌توان عملیات ماشین‌کاری را به حداقل رسانده و هزینه تولید را کاهش داد.

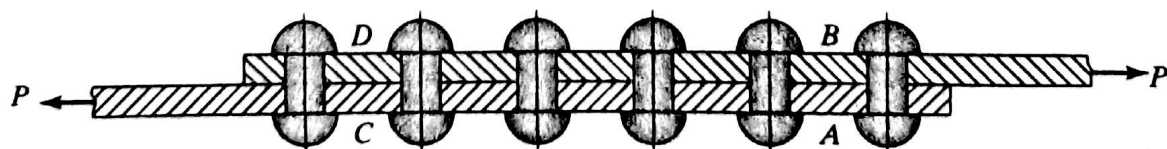


شکل ۱۱-۶: نمونه‌هایی از اتصالات انجام گرفته توسط جوش کوره‌ای

همانگونه که ذکر شد، در زردجوشکاری کوره‌ای، قبلاً قطعات مورد جوشکاری را روی همدیگر سوار و سپس از کوره رد می‌کنند. یاد آور می‌شویم در موقع عبور از کوره نباید قطعات روی هم سوار شده نسبت به هم حرکت کرده و انطباق صحیح خود را از دست بدهند. بهتر است قطعات خودقفل باشند. زیرا در اینصورت احتیاج به بند و بست یا فیکسچر نگهدارنده نخواهیم داشت. اگر زردجوشکاری در داخل یک کوره الکتریکی با اتمسفر کاهنده (احیا کننده) انجام بگیرد، نیازی به ماده فلاکس نیست و سطوح حاصله صاف و براق خواهند بود.

۱۳-۶ اتصال پرچی با بار مرکزی

از پرچها در ساختمان‌سازی، پل‌سازی، دیگها، مخازن، کشتی‌سازی و انواع اسکلت بندی و قاب‌سازی بعنوان وسایل بندوبست و اتصال دهنده استفاده می‌شود. موقعی که بار بر مرکز آنها وارد می‌شود، معمولاً فرض می‌کنند تمام پرچهای اتصال دهنده تحت تنش یکسان قرار گرفته‌اند. البته این فرض به طور تقریبی صحیح است. بعنوان یک مثال ساده، دو میله شکل (۱۲-۶) را که با یک ردیف پرچ به هم متصل شده‌اند در نظر بگیرید.

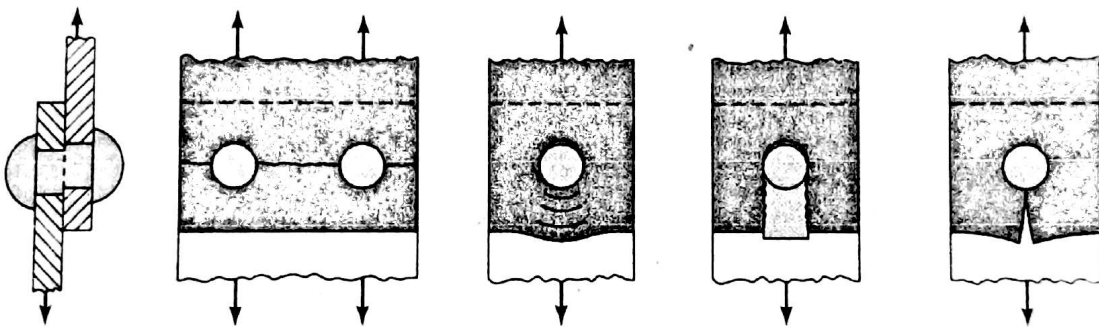


شکل ۱۲-۶: میله‌های متصل توسط یک ردیف پرچ، تحت اثر نیروهای کششی

افزایش طول این میله‌های در ناحیه B و C حداکثر است، زیرا این ناحیه‌ها تقریباً تمام بار P را تحمل می‌کنند اما در نقاط A و D افزایش طول میله‌ها حداقل است، زیرا در این نقاط بار تحمیلی آنها کم است. به دلیل این تغییر طولهای نابرابر، پرچهای انتهایی بار بیشتری را تحمل می‌کند. با کم شدن فاصله پرچها از مرکز، بار تحمیلی آنها

کاهش می‌یابد. بطوری که بارهای وارد بر پرچهای مرکزی از مقدار بار متوسط کمتر است. در مواردی که جنس سیستم از ماده داکتیل (نرم) است، با اعمال بار زیاد، مقداری تغییر شکل پلاستیک در نواحی پر تنش سیستم ایجاد می‌شود. این کار باعث می‌شود بار وارده بر سیستم بطور یکنواخت تر بین پرچها پخش شود. در ساختمانهای فولادی، بطور استاندارد از سوراخهای پانچ شده استفاده می‌شود. قطر این سوراخها به اندازه $1/16$ in از قطر پرچ بیشتر است. اگرچه بعد از عملیات پرچ کوبی، قطر پرچ زیاد شده و سوراخ را پر می‌کند، لیکن محاسبات را بر اساس قطر اولیه پرچ انجام می‌دهند. چون در موقع پانچ کردن سوراخ لبه‌های آن آسیب می‌بیند، در مواردی که دقت زیاد و کیفیت بالا لازم است سوراخها را اندکی کوچکتر پانچ می‌کنند و سپس به روش برقوزنی، آنها را به قطر لازم می‌رسانند. طبق آیین‌نامه‌های مربوط به دیگها، سوراخ پرچ توسط مته یا دستگاه سنبه ماتریس اندکی کوچکتر از اندازه لازم باز می‌شود و بعد با برقوزدن آن را به اندازه استاندارد می‌رسانند محاسبات دیگها را بر اساس قطر سوراخ پرچ انجام می‌دهند، زیرا پرچها باید بعد از کوبیده شدن افزایش قطرداده و کاملاً سوراخ خود را پر کند.

فاصله بین پرچها باید نه خیلی کمتر و نه خیلی بیشتر انتخاب شود. در ساختمانهای فولادی، حداقل فاصله بین مرکز دو پرچ معمولاً سه برابر قطر پرچ در نظر گرفته می‌شود. عموماً در دیگها این فاصله را اندکی کمتر انتخاب می‌کنند.



شکل ۱۳-۶: انواع گسیختگی‌ها برای یک اتصال پرچی

فاصله پرچها نباید از مقدار مشخصی بیشتر باشد، وگرنه در صفحات مورد اتصال کمایش بوجود می‌آید. (حداکثر فاصله را معمولاً 16 برابر ضخامت صفحه خارجی در نظر می‌گیرند. فاصله لبه به عبارت دیگر فاصله مرکز پرچ از لبه صفحه، نباید از مقدار مشخصی کمتر باشد والا یکی از گسیختگی‌های نشان داده شده در شکل‌های (e)، (d) ۱۳-۶ اتفاق می‌افتد.

۱۴-۶ تنش در پرچها

پرچهایی که به صورت گرم توسط ماشین کوبیده می‌شوند، بر اثر سرد شدن منقبض شده و صفحات را به یکدیگر فشار می‌دهند. بنابراین بین صفحات اصطکاک به وجود می‌آید، این اصطکاک به پرچ کمک کرده و مقداری از بار را تحمل می‌کند. در بعضی موارد، کل بار باید بدین روش تحمل شود. با افزایش بار، اصطکاک بین صفحات از بین رفته و متعاقب آن اتصال ممکن است به چند روش نشان داده شده در شکل (۱۳-۶) گسیخته شود.

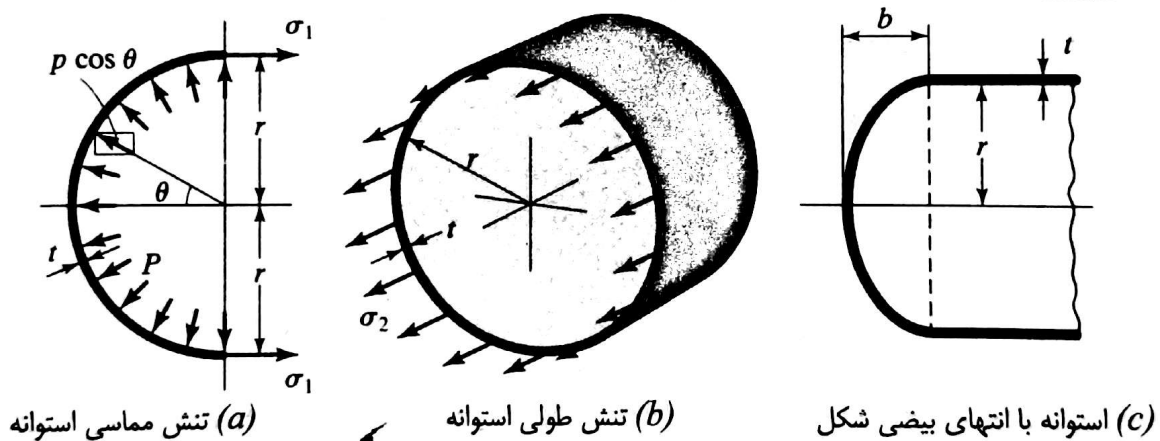


شکل ۱۴-۶: اتصال پرچی روی هم، تحت بار خارج از مرکز

به ویژه، در مواردیکه بارهای وارد بر صفحات متغیر است، باید از سر خوردن صفحات و نقاط اتصال جلوگیری شود. بنابراین، مقدار بار وارده باید دقیق باشد و پرچها بطور سفت کوبیده شوند. درست است که نیروی اصطکاک بین صفحات اتصالی در تحمل بار به پرچها کمک می‌کند، اما معمولاً استحکام یک اتصال پرچی را بر اساس استحکام برشی پرچها، تنش کششی بین سوراخهای پرچ، و استحکام فشاری یا مقاومت صفحات نسبت به تنش لهیدگی، محاسبه می‌شود. پرچهای ماشین کوب، به پرچهایی گفته می‌شود که توسط ماشین پرچ‌کاری یا چکش بادی دستی کوبیده می‌شوند. موقعی که از پیچهای تراشیده شده استفاده می‌شود، اختلاف بین قطر سوراخ و قطر پیچ (لقی) نباید از $1/50 \text{ in.}$ تجاوز کند. در مواردیکه پرچها فقط تحت برش (مطابق شکل ۱۴-۶) قرار می‌گیرند، بدلیل اثرات ناشی از خارج از مرکز بودن، حالت تنش پیچیده می‌شود. در این شرایط باید از تنش مجاز کوچکتری نسبت به حالتی که پرچها تحت برش مضاعف هستند، استفاده شود. در اتصالات پرچی برای کاهش اثرات سوء ناشی از بارهای متغیر، ضربه‌ای و دماهای بسیار بالا و بسیار پایین، باید شرایط مناسبی برقرار شود.

۱۵-۶ تنش‌ها در استوانه جدار نازک

در محاسبه تنشهای موجود در جدار یک استوانه جدار نازک فرض می‌کنند مقدار تنش در تمام ضخامت جدار آن به طور یکنواخت پخش شده است. فرض کنید ظرف جدار نازک استوانه شکل (۱۵-۶) تحت بار ناشی از فشار داخلی p قرار گرفته باشد.



شکل ۱۵-۶: تنش‌های موجود در ظرف استوانه‌ای نازک

اگر طول مقطع نشان داده شده در جهت عمود بر صفحه کتاب برابر با l فرض شود، مساحت مربوط به المان کوچکی از سطح استوانه ای، برابر با $r l d\theta$ می‌شود. مولفه افقی نیروی موجود در این المان برابر با $p r l \cos \theta d\theta$ است. با انتگرالگیری از این نیرو در $1/4$ دایره، نیروی مماسی F بدست می‌آید. پس

$$F = \int_0^{\pi/2} p r l \cos \theta d\theta = p r l \sin \theta \Big|_0^{\pi/2} = p r l \quad (7)$$

تنش مماسی σ_1 با تقسیم نیروی F بر مساحت سطح مقطع (tl) بدست می‌آید

$$\sigma_1 = \frac{F}{tl} = \frac{p r}{t} \quad (8)$$

در جهت طولی، تنش σ_2 باید در مقابل نیروی وارد بر سطح انتهایی استوانه مقاومت کند. بنابراین، می‌توان نوشت

۳۲۷
تنش طولی

$$2\pi r t \sigma_2 = \pi r^2 p \quad ; \quad \sigma_2 = \frac{rp}{2t} \quad (9)$$

بطوری که ملاحظه می کنید تنش مماسی دو برابر تنش طولی است. معادلات (۸) و (۹) فقط موقعی صحیح هستند که ضخامت t بسیار کوچکتر از شعاع r باشد. با استفاده از معادله (۷) می توان دریافت که نیروی لهیدگی یا فشاری پرچ برابر با حاصلضرب تنش لهیدگی در تصویر مساحت است. تصویر مساحت خودش از حاصلضرب قطر در ضخامت صفحه بدست می آید. به شکل (۱۳c-۶) توجه کنید.

موقعی که ضخامت صفحه طوری است که باید خمش را نیز در نظر گرفت، مقدار تنش ها در نواحی ناپیوسته ظروف به سرعت افزایش می یابد. در این حالت، این تئوری صورت پیچیده ای به خود می گیرد. اتصال پرچی در یک دیگ به دلیل کاهش مساحت ناشی از سوراخ پرچها از صفحه تشکیل دهنده ظرف ضعیف تر است. مقاومت صفحه سوخته شده را بر اساس انواع گسیختگی های احتمالی انجام داده و با مقاوم صفحه سوراخ نشده مقایسه می کنیم و بدینوسیله راندمان اتصال را به دست می آوریم. این موضوع در مثال (۶-۶) تشریح شده است.

مثال ۶-۶

نیروی مجاز قابل تحمل توسط عرض $8 \frac{1}{4} in$ از اتصال لب به لب با پرچهای سه ردیفه نشان داده شده در شکل (۱۶-۶) را بدست آورید. محاسبات مربوط به انواع گسیختگی های احتمالی در جدول (۶-۶) را انجام داده و راندمان اتصال را بدست آورید.

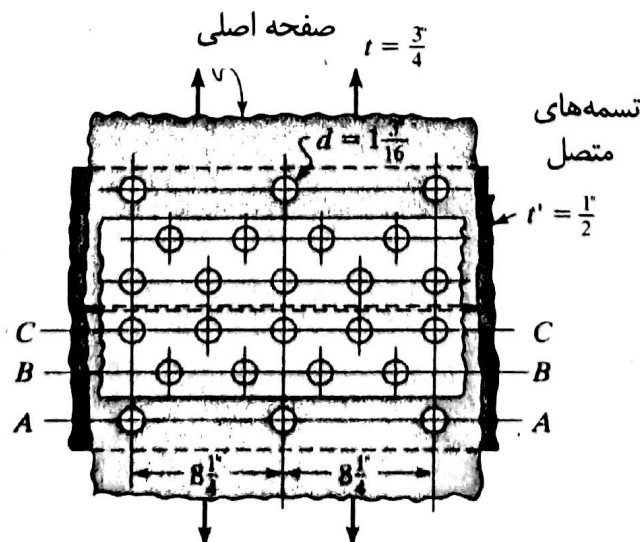
اگر این اتصال در روی یک مخزن استوانه ای به قطر $60 in$ باشد، مقدار فشار داخلی مجاز مخزن چقدر خواهد بود. از تنش های داده شده در زیر استفاده کنید.

تنش کششی حد پارگی برای صفحه فولادی $\sigma_t = 55000 \text{ psi}$

تنش فشاری نهایی برای صفحه فولادی $\sigma_c = 95000 \text{ psi}$

تنش برشی حد پارگی (نهایی) برای پرچهای فولادی $\tau = 44000 \text{ psi}$

ضریب اطمینان $F_s = 5$



شکل ۱۶-۶: اتصال لب به لب پرچی سه گانه. مثال ۶-۶

اطلاعات داده شده: خواص هندسی اتصال مورد استفاده در مخزن استوانه ای با قطر 60 in در شکل (۱۶-۶) ارائه شده است؛ تخریب از نوع خستگی است. طبق جدول (۶-۶)، مقادیر σ_t, σ_c و τ به صورت بالا هستند؛ مقدار ضریب اطمینان $F_s = 5$ است.

فرضها: نیروی وارده به وسیله عرض $8\ 1/4\text{ in}$ اتصال پرچی لب به لب سه ردیفه تحمل می شود. روش حل: از معادلات مربوط به برش و کشش و همچنین از معادله (۸) استفاده می کنیم.

جزئیات حل:

(الف) نیروی کششی در مقطع $A-A$ از صفحه اصلی عبارت از

$$F = \frac{55000}{5} (8.25 - 1.1875) \times 0.75 = 58270\text{ lb}$$

(ب) برش در پیچها نه سطح در تحت تنش برشی است. چهار سطح در مقطع $B-B$ ، چهار سطح در مقطع $C-C$ و یک سطح در مقطع $A-A$ مساحت تحت برش پرچ به صورت زیر محاسبه می شود

$$A = \frac{\pi}{4} \times 1.1875^2 = 1.108\text{ in}^2.$$

$$F = \frac{44000}{5} \times 9 \times 1.108 = 87710\text{ lb}$$

(ج) لهیدگی در پرچها در مقاطع $B-B$ و $C-C$ گسیختگی در صفحه اصلی اتفاق می افتد. اما در مقطع $A-A$ گسیختگی در صفحه لب به لب گذاشته شده، اتفاق می افتد.

مساحت تحت لهیدگی $A = 4 \times 1.1875 \times 0.75 + 1.1875 \times 0.5 = 4.156\text{ in}^2$

$$F = \frac{95000}{5} \times 4.156 = 78970\text{ lb}$$

(د) کشش در مقطع $B-B$ و برش در مقطع $A-A$ مساحت تحت کشش به صورت زیر محاسبه می شود

$$A = (8.25 - 2 \times 1.1875) \times 0.75 = 4.406\text{ in}^2$$

$$F = \frac{55000}{5} \times 4.406 + \frac{44000}{5} \times 1.108 = 58220\text{ lb}$$

(و) کشش در مقطع $B-B$ و لهیدگی در مقطع $A-A$ به صورت زیر حساب می شوند

$$F = 48470 + \frac{95000}{5} \times 1.1875 \times 0.5 = 59750\text{ lb}$$

(ه) لهیدگی در مقاطع $B-B$ و $C-C$ و برش در مقطع $A-A$

$$F = \frac{95000}{5} \times 4 \times 1.1875 \times 0.75 + 9750 = 77430\text{ lb}$$

(ی) کشش در صفحه پانچ نشده

$$F = \frac{55000}{5} \times 8.25 \times 0.75 = 68060\text{ lb}$$

(ز)

$$\text{راندمان} = \frac{58220}{68060} \times 100 = 85.5\%$$

(ر) حداکثر فشار داخلی مجاز (P) با استفاده از معادله (۷) به صورت زیر حساب می شود

$$p = \frac{F}{rl} = \frac{58220}{30 \times 8.25} = 235$$

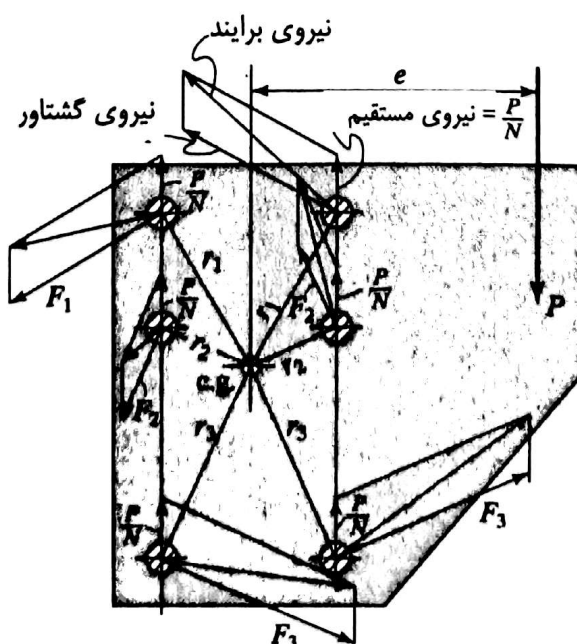
جدول ۶-۶: بارهای مربوط به اتصال شکل ۱۶-۷

نیروی کار بر حسب lb	نوع تخریب یا گسیختگی
58270	(a) کشش در مقطع $A-A$
87710	(b) برش در پرچها
78970	(c) لهیدگی در پرچها
58220	(d) کشش در مقطع $B-B$ برش در مقطع $A-A$
59750	(e) کشش در مقطع $B-B$ برش در مقطع $A-A$
77430	(f) لهیدگی در مقطع $B-B$ و $C-C$ برش در مقطع $A-A$
68060	(g) کشش در صفحه بدون سوراخ پرچ
85.5%	(h) راندمان
235psi	(i) فشار مجاز

۱۶-۶ اتصال پرچی تحت بار خارج از مرکز

موقعی که بار به طور خارج از مرکز بر گروهی از پرچهای تشکیل دهنده اتصال وارد می‌شود، علاوه بر بار مستقیم باید اثر گشتاور (ممان) را نیز در محاسبات خود دخالت دهیم. در شکل (۱۷-۶) مثالی در این مورد ارائه شده است. در این مثال، تعداد N پرچ تحت گشتاور Pe قرار گرفته‌اند. فرض می‌کنیم مقدار این گشتاور با تغییر فاصله پرچ از مرکز ثقل O مستقیماً تغییر کند و نسبت به شعاع بین مرکز پرچ و مرکز ثقل قائم باشد. در این صورت معادلات مربوط به نیروهای ناشی از گشتاور F_1, F_2, F_3 در شکل (۱۷-۶) بصورت زیر خواهند بود

$$F_1 = Cr_1 ; F_2 = Cr_2 ; F_3 = Cr_3 \quad (a)$$



شکل ۱۷-۶: اتصال پرچی با بار خارج از مرکز

در این معادلات C عبارت از ثابت تناسب است. با جمع کردن حاصلضرب این نیروها در فاصله آنها از مرکز ثقل O ، گشتاور وارده از خارج بدست می آید. بنابراین خواهیم داشت

$$T = Pe = N_1 F_1 r_1 + N_2 F_2 r_2 + N_3 F_3 r_3 + \dots$$

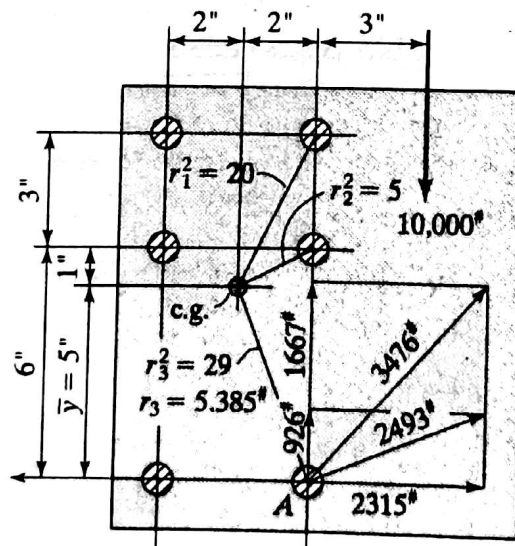
$$= C (N_1 r_1^2 + N_2 r_2^2 + N_3 r_3^2 + \dots) \quad (10)$$

در معادله فوق N_1 تعداد پرچها با شعاع r_1 و N_2 تعداد پرچها با شعاع r_2 و ... را نشان می دهند. اگر مقدار C را توسط معادله (۱۰) حساب کرده باشیم، می توان با ضرب کردن آن در شعاع مربوطه r مقدار نیروی گشتاور (نیروی ناشی از گشتاور) هر یک از پرچها را بدست آورد. معمولاً بار مستقیم P/N تمام پرچهای اتصال را مساوی فرض می کنند. براینده نیروهای وارد بر پرچ برابر با جمع برداری نیروی گشتاوری و نیروی مستقیم است.

مثال ۶-۷

در اتصال شکل (۶-۱۸) مقدار نیروی وارد بر پرچی را که بیشترین بار را تحمل می کند، حساب کنید. مقدار تنش برشی پرچهای $3/4 in$ ، و همچنین مقدار تنش لهیدگی را در صورتی که ضخامت صفحه $5/16 in$ باشد، پیدا کنید.

اطلاعات داده شده: ابعاد فیزیکی اتصال در شکل (۶-۱۸) نشان داده شده است.



$$F = \frac{10,000}{6} = \frac{P}{N}$$

شکل ۶-۱۸: مسئله ۶-۷

فرضها: بارها به صورت خارج از مرکز وارد شده اند و لذا باید گشتاور ایجاد شده را نیز باید در نظر بگیریم. روش حل: از معادله (۱۰) استفاده می کنیم.

جزئیات حل: ورق یا صفحه را به عنوان یک جسم آزاد در نظر می گیریم. نیروی مستقیم در پرچ به صورت زیر حساب می شود

$$F = \frac{10000}{6} = 1667 lb$$

با گشتاورگیری نسبت به پایین ترین ردیف از پرچها داریم

$$\bar{y} = \frac{2 \times 6 + 2 \times 9}{6} = 5 \text{ in.}$$

از معادله (۱۰) داریم

$$10000 \times 5 = C(2 \times 20 + 2 \times 5 + 2 \times 29) \quad C = 463$$

پرچ موجود در A دارای حداکثر نیرو است. نیروی گشتاوری عبارت است از

$$F_3 = 463 \times 5.385 = 2493 \text{ lb}$$

این نیرو دارای مولفه‌های افقی و قائم نشان داده شده در شکل (۱۸-۶) است. نیروی برآیند

$$F_r = \sqrt{(925 + 1667)^2 + 2315^2} = 3476 \text{ lb}$$

مساحت تحت برش

$$A = \frac{\pi}{4} \times 0.75^2 = 0.4418 \text{ in}^2$$

مساحت پرچ

تنش برشی در پرچ

$$\tau = \frac{3476}{0.4418} = 7870 \text{ psi}$$

مساحت تحت لهیدگی

$$A = \frac{5}{16} \times \frac{3}{4} = 0.2344 \text{ in}^2$$

قطر پرچ $\rightarrow$ $\frac{3}{4}$ فضای مساحت

تنش لهیدگی پرچ

$$\sigma = \frac{3476}{0.2344} = 14830 \text{ psi}$$

مثال ۸-۶

مقدار P برای دو اتصال نشان داده شده در شکل (۱۹-۶) را براساس تنش برشی مجاز 15000 psi حساب کنید.

اطلاعات داده شده: ابعاد فیزیکی اتصال مطابق شکل (۱۹-۶) است.
 فرضها: بارها به طور خارج از مرکز وارد می‌شوند. بنابراین گشتاور آنها نیز باید در نظر گرفته شود. بار گشتاوری وارد بر پرچ با افزایش فاصله از مرکز گرانش گروه پرچها افزایش می‌یابد.
 روش حل: از معادله (۱۰) استفاده می‌کنیم.
 جزئیات حل: مساحت تحت برش هر کدام از پرچها برابر با

$$\frac{\pi}{4} \left(\frac{3}{4} \right)^2 = 0.4418 \text{ in}^2$$

برای اتصال (a) داریم

برای اتصال (b) بازوی گشتاور بار برابر با 2 in است. از معادله (۱۰) داریم

$$2P = C(2 \times 2^2 + 2 \times 6^2) ; \quad C = 0.025 P$$

برای پرچ موجود در A داریم

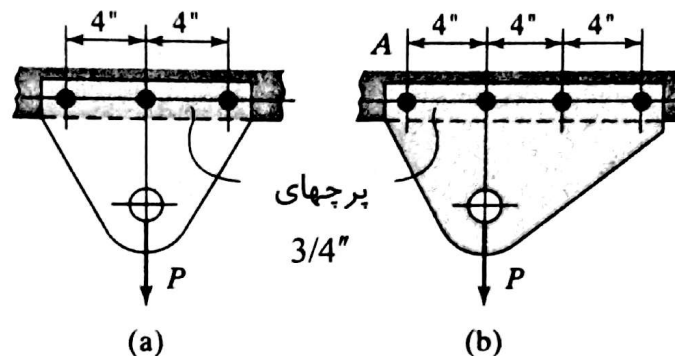
$$6 \times 0.025 P = 0.15 P = \text{نیروی گشتاور}$$

$$\frac{P}{4} = 0.25 P = \text{نیروی مستقیم}$$

کل نیرو برابر با $0.40 P$ است.

$$\text{تنش} = \frac{0.4 P}{0.4418} = 15000 \rightarrow P = 16570 \text{ lb}$$

بدین ترتیب نتیجه می‌شود، با اینکه اتصال (b) دارای پرچهای زیادی است و ساخت آن گرانتر تمام می‌شود، اما ظرفیت تحمل بار آن از اتصال متقارن (a) کمتر است.



شکل ۱۹-۶: مثال ۸-۶

مثال ۸-۶ A

یک ورق پشت بند به وسیله یک ردیف پرچهای افقی به تکیه‌گاهی اتصال داده شده است. ردیف پرچها شامل ۴ پرچ به قطر 20 mm و فاصله پرچها 75 mm است. بار P بطور قائم در 100 میلیمتری طرف راست آخرین پرچ وارد شده است. اگر تنش برشی ایجاد شده در پرچی که بیشترین بار را تحمل می‌کند 70 MPa باشد، مقدار بار P را حساب کنید.

اطلاعات داده شده: ورق پشت بند دارای چهار پرچ به قطر 20 mm ، و فاصله بین پرچها 75 mm است. محل مورد نظر که در فاصله 100 mm از آخرین پرچ و در راست آن قرار دارد، تحت بار ماکزیمم قرار داشته و تنش برشی در آخرین پرچ برابر با 70 MPa است.

فرضها: بارها به طور خارج از مرکز وارد می‌شوند. بنابراین گشتاور آنها نیز باید در نظر گرفته شود. بار گشتاوری وارد بر پرچ، با افزایش فاصله از مرکز گرانش گروه پرچها افزایش پیدا می‌کند. روش حل: از معادله (۱۰) استفاده می‌کنیم.

جزئیات حل: ورق پشت بند را بعنوان جسم آزاد در نظر می‌گیریم.

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{\pi (20)^2}{4} = 314.2 \text{ mm}^2 \quad \text{مساحت یک پرچ}$$

نیروی تحملی پرچی که حامل بار ماکزیمم است به ترتیب زیر به دست می‌آید

$$314.2 \times 70 = 21990 \text{ N}$$

$$e = 37.5 + 75 + 100 = 212.5 \text{ mm}$$

گشتاور بار

$$T = Pe = 212.5 P$$

از معادله (۱۰) داریم

$$212.5 P = C(2 \times 112.5^2 + 2 \times 37.5^2) = 28125 C \quad C = 0.007556 P$$

نیروی ناشی از گشتاور در پرچ سمت راست عبارتست از

$$112.5 \times 0.007556 P = 0.850 P$$

نیروی مستقیم در روی این پرچ برابر با $0.25 P$ است.

$$(0.25 + 0.85)P = 1.10 P \quad (\text{کل نیروی موجود در پرچ})$$

بنابراین داریم

$$1.10 P = 21990 \quad \text{یا} \quad P = 19990 \text{ N}$$

موقعی که بار در یک اتصال پیچی توسط تنش برشی تحمل می‌شود، برحسب اینکه بار وارده بر کدام قسمت پیچ وارد می‌آید، محاسبات را نسبت به تمام بدنه پیچ و یا نسبت به مساحت تحت تنش رزوه‌های پیچ انجام می‌دهیم.

۱۷-۶ مرکز آنی چرخش

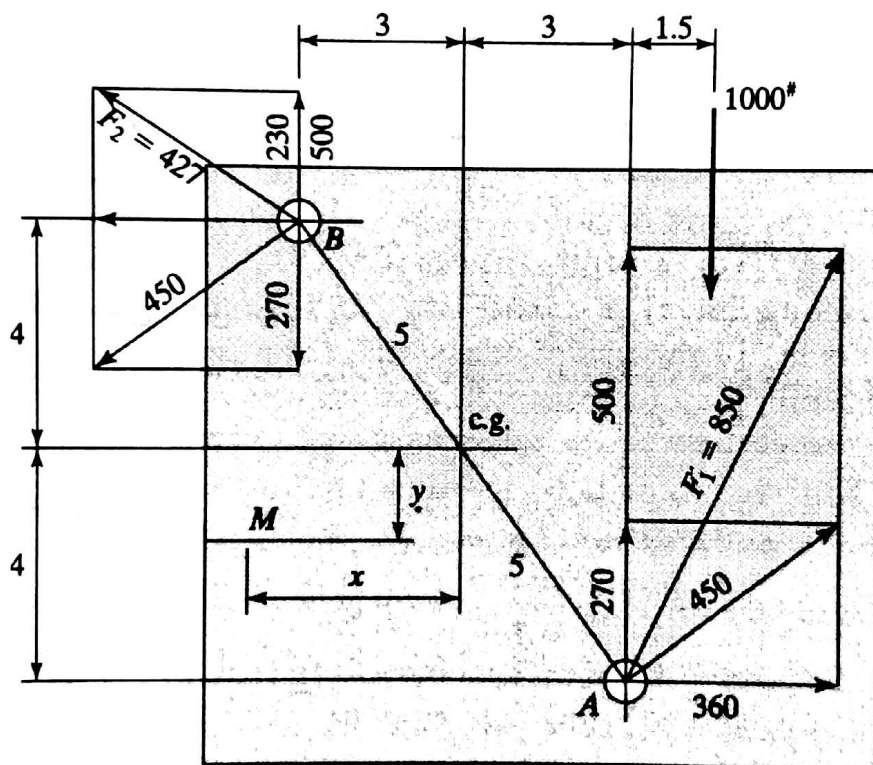
همانگونه که در بخش قبل تشریح شد، اصل برهم نهی مشخص می‌کند نیروهای وارد بر پرچ برابر با مجموع بار مستقیم و نیروی ناشی از گشتاور آن است. کل نیروی پرچ از مجموع هندسی این نیروها به دست می‌آید. نیروهای یاد شده را می‌توان به مولفه‌های قائم و افقی تجزیه کرد و در موارد لازم، با استفاده از این مولفه‌ها گشتاورهای وارد بر پرچ را محاسبه کرد.

داده‌های مربوط به اتصال پرچی ساده متشکل از دو پرچ در شکل (۲۰-۶) نشان داده شده است. نیروی مستقیم وارد بر هر پرچ برابر با 500 lb است. محاسبه نیروی گشتاوری 450 lb وارد بر هر پرچ در شکل نشان داده شده است. این نیروها به مولفه‌های قائم و افقی تجزیه شده‌اند، و نیروهای برآیند با جمع کردن F_1 و F_2 با نیروهای مستقیم تعیین شده‌اند.

یکی از اصول مکانیک بیان می‌کند هر گاه جسمی تحت یک مجموعه نیرو در حال تعادل باشد، مجموع جبری گشتاورهای وارد بر جسم حول هر نقطه‌ای واقع بر صفحه نیروها صفر است. نقطه M را به عنوان یک نقطه دلخواه انتخاب می‌کنیم. محاسبات روی شکل نشان می‌دهند که مجموع جبری گشتاورها حول نقطه M برابر با صفر است. ورق شکل (۲۰-۶) را همراه با نیروها در شکل (۲۱-۶) رسم کرده ایم. نیروی مستقیم 1000 lb بر مقاومت کشسانی ورق فائق شده و آنرا به اندازه کوچکی به سمت پایین جابجا می‌کند. نیروی 4500 lb باعث می‌شود پرچها به اندازه کوچکی در جهت ساعتگرد حول مرکز گرانش بچرخند. جابجایی نقاط ورق در امتداد قائم بر شعاع کشیده شده از مرکز گرانش، رخ می‌دهد. این جابجایی متناسب با فاصله از مرکز گرانش است.

بنابراین، همه نقاط شعاع افقی در سمت چپ مرکز گرانش به سمت بالا جابجا می‌شوند. تنها در نقطه O مقدار حرکت رو به بالای ناشی از گشتاور دقیقاً برابر با حرکت رو به پایین ناشی از بار مستقیم است. لذا این نقطه ثابت می‌ماند. نقطه یاد شده، به نام مرکز آنی چرخش معروف است.

فرض کنید نیروهای F_1 و F_2 حول نقطه O گشتاور ایجاد کنند. همانگونه که در شکل نشان داده شده، مرکز هر یک از نیروها در نقطه ای واقع بر خط قائم بر نیرو قرار می‌گیرد. برای اینکه این نقطه روی هر دو شعاع قرار بگیرد لازم است در نقطه تقاطع آنها (O) واقع باشد. این نقطه، همچنین، در روی خط افقی گذرنده از مرکز ثقل قرار دارد. روش محاسبه گشتاورها در شکل ارائه شده است. طولهای لازم با استفاده از معادلات مثلثاتی ساده تعیین می‌شوند.



$$T = C(r_1^2 + r_2^2)$$

$$1000 \times 4.5 = C(5^2 + 5^2) \rightarrow C = 90 \text{ #/in}$$

$$\text{گشتاور حول مرکز ثقل} = 5 \times 90 = 450 \text{ #}$$

گشتاور حول مرکز ثقل:

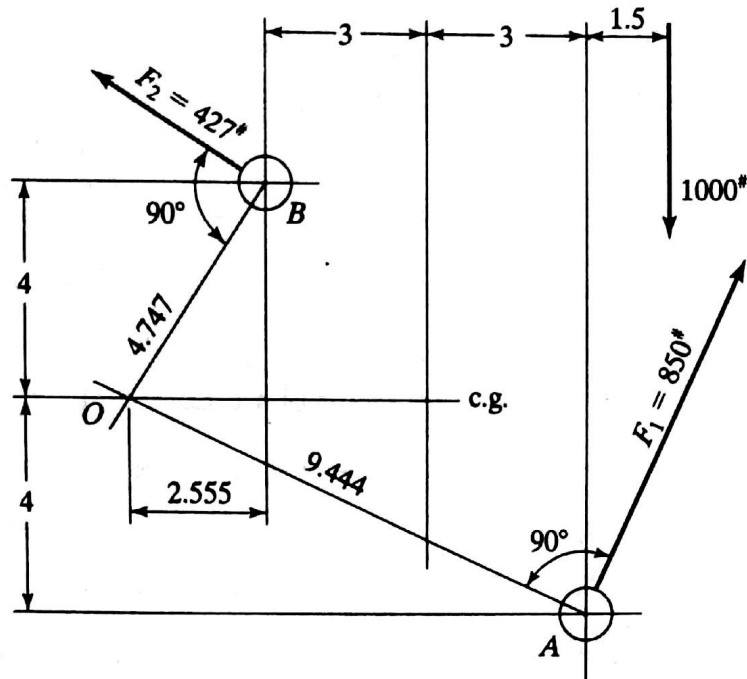
$$1000 \times 4.5 + 500 \times 3 = 500 \times 3 + 450 \times 5 + 450 \times 5$$

گشتاور حول M :

$$1000(4.5 + x) = 770(3 + x) + 360(4 - y) + 230(x - 3) + 360(4 + y)$$

$$4500 + 1000x = 4500 + 1000x$$

شکل ۲۰-۶: ورق تخت با بار خارج از مرکز.



گشتاورها حول O :

$$1000 \times 10.055 = 850 \times 9.444 + 427 \times 4.747$$

$$10,055 = 8028 + 2027$$

شکل ۲۱-۶ : جزئیات دیگر در مورد ورق شکل ۲۰-۶.

۱۸-۶ چسبها

چسباندن فلز به فلز در طراحی اهمیت روزافزونی پیدا کرده است. چسبهای محکم فنولیک - الاستومر، وینیل - فنولیک، و اپوکسی- رزین هر روز بیشتر از روز قبل در اتصال قطعات فلزی به کار می روند. مواد آلی نیز قابل چسباندن هستند. در صنایع اتومبیل و هواپیما از چسبها بطور گسترده استفاده می شود. انتخاب چسب مناسب برای موارد مختلف مهم است و کار چندان ساده ای نیست. چسبهای متعدد و مختلفی وجود دارند، اما خواص آنها کمتر استاندارد شده است. موقعی که چسبها مستقیماً جایگزین وسایل اتصال دهنده دیگری می شوند بندرت خواص اصلی خود را ایفا می کنند. بطور کلی لازم است اتصال را طوری طراحی کنیم که مناسب استفاده از چسبها باشد. در بعضی موارد چسبها چنان اتصالی ایجاد می کنند که ایجاد آن بوسیله وسایل مکانیکی غیر ممکن است.

مساحت تماس قطعات مورد اتصال در اتصالات چسبی بیشتر است و این یک امتیاز برای این نوع اتصال محسوب می شود. بنابراین، مواد نازک و یا کلفت را به هر شکلی که باشند می توان به واسطه چسبها اتصال داد. همچنین هر نوع ماده با ترکیبهای مشابه و غیر مشابه را می توان چسباند. لایه چسبی، خوردگی الکتروشیمیایی بین فلزات غیر مشابه را به حداقل می رساند و یا از وقوع آن جلوگیری می کند. بطور کلی چنین اتصالی در مقابل بارهای خستگی یا متغیر، مقاومت خوبی دارد و به مستهلک ساختن ارتعاشات کمک می کند. در بعضی موارد، از چسبها برای آب بندی اجزاء نسبت به نفوذ سیالات استفاده می کنند. در اتصالات چسبی، تنشهای محبوس و تاب برداری اتصالات جوشی را نخواهیم داشت.

سطوح مورد اتصال را دقیقاً تمیز کرده و در بعضی موارد عملیات مخصوصی روی آنها انجام می دهند. برای سفت شدن چسب ممکن است گرما و فشار لازم باشد. همچنین در مواردی ممکن است مرحله سفت شدن چسب یک

عیب محسوب شود. بعضی از چسبها در غیاب هوا سفت می شوند. همچنین ممکن است بعد از چسباندن، بستن محکم قطعات مورد اتصال لازم باشد. برای انجام این کار، معمولاً از وسایل بندو بست یا جیگ و فیکسچر استفاده می شود. بعضی از چسبها توسط باکتریها، رطوبت یا بعضی حلالها آسیب می بینند. بیشترین دمای کار برای چسبها در حدود $350^{\circ}F$ است.

برخی از چسبها در اثر افزایش دما، استحکام خود را زودتر از دیگر چسبها از دست می دهند. به دلیل اختلاف کرنش های ایجاد شده در قطعات متصل، یک تمرکز تنش شدید در انتهای اتصال (اتصال رویهم) بوجود می آید. در اتصالات مکانیکی، چسب به داخل حفره های کوچک موجود در سطوح مورد اتصال پر شده و آنها را به یکدیگر می چسباند. در اتصالات شیمیایی، چسب با قطعات مورد اتصال واکنش نشان داده و آنها را در سطح وسیعی به یکدیگر اتصال می دهد، و اتصال بر اساس جاذبه موجود در بین مولکولهای آنها بوجود می آید. برای مقاومت در مقابل خزش، ماده چسب باید بسیار صلب و سفت باشد. اما در مواردی که لازم است اتصال در حین کار انعطاف پذیر باشد، از چسبی استفاده می شود که ماده آن انعطاف پذیر است. اتصال قطعات به روش چسباندن، سرعت رشد می کند و امکانات عالی تری را در آینده به ارمغان خواهد آورد. در آینده از چسبهای ساده تر، ارزاتر، محکم تر، و بسیار سهل الاستفاده برخوردار خواهیم شد.

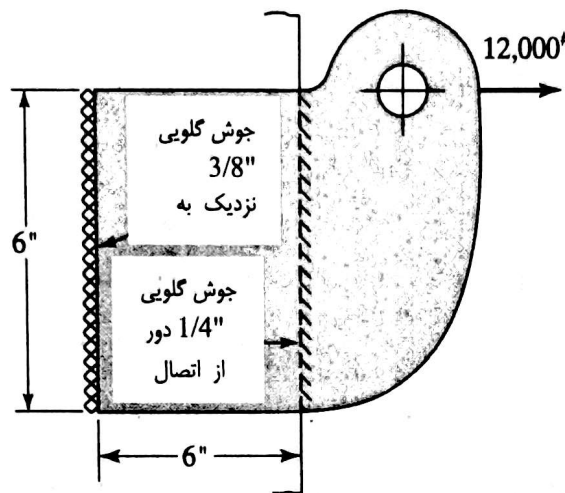
مراجع

1. Fish, G. D., *Arc Welded Steel Frame Structures*, New York: McGraw-Hill, 1941.
2. Koopman, K. H., "Elements of Joint Design for Welding," *Welding J.*, 37, 1958, p. 579.
3. *Metals Handbook*, 8th ed., Vol. 6, Metals Park, OH: American Society for Metals, 1971.
4. *Procedure Handbook of Arc Welding—Design and Practice*, Cleveland, OH: The Lincoln Electric Co., 1957.
5. Rossi, B. E., *Welding and Its Applications*, New York: McGraw-Hill Book Company, 1941.
6. Rothbart, H. A., Ed., *Mechanical Design and Systems Handbook*, New York: McGraw-Hill Book Company, 1964, Section 25.
7. Skeist, I., Ed., *Handbook of Adhesives*, New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1962.
8. *Symposium on the Welding of Iron and Steel*, Vols. 1 and 2, London, England: The Iron and Steel Institute, 1935.
9. Udin, H., E. R. Funk, and J. Wulff, *Welding for Engineers*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1954.
10. *Welding Handbook*, 4th ed., New York: American Welding Society, 1960.

مسایل

۶-۱ مقدار حداکثر تنش را در جوش شکل (۶-۲۲) حساب کنید. فرض کنید تنش مستقیم در مساحت گلوئی بطور یکنواخت پخش شده باشد.

(جواب) $\tau = 11500 \text{ psi}$



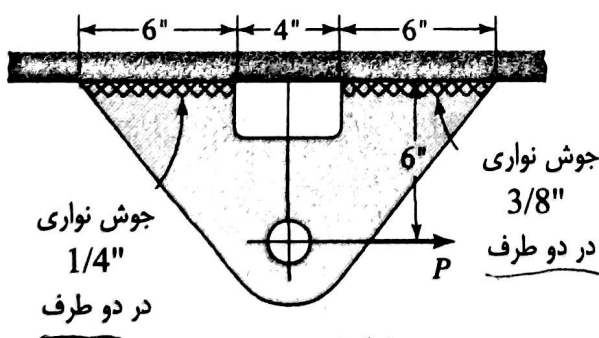
شکل ۶-۲۲

۶-۲ بار استاتیکی مجاز P را در شکل (۶-۲۳) حساب کنید. از یک الکتروود $E6010$ استفاده شده و مقدار ضریب اطمینان براساس قضیه حداکثر برش تخریب برابر با ۲ است.

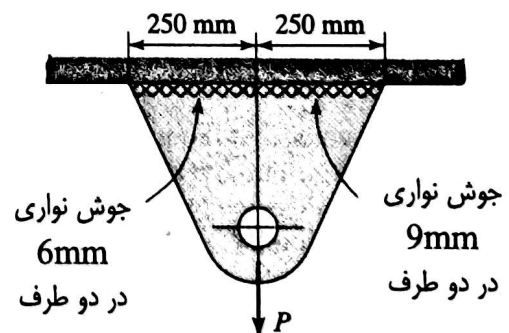
(جواب) $P = 341000 \text{ N}$

(جواب) $P = 29600 \text{ lb}$

۶-۳ مسئله ۶-۲ را برای شکل (۶-۲۴) تکرار کنید.



شکل ۶-۲۴



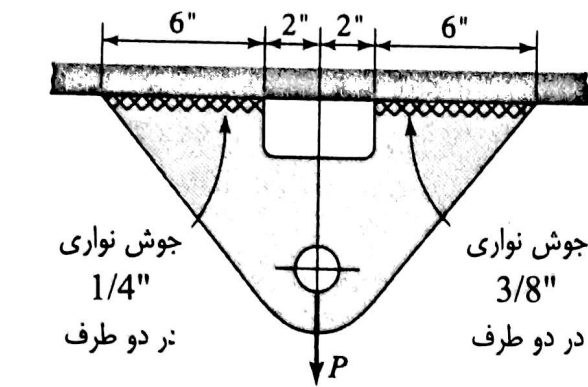
شکل ۶-۲۳

(جواب) $P = 49700 \text{ lb}$

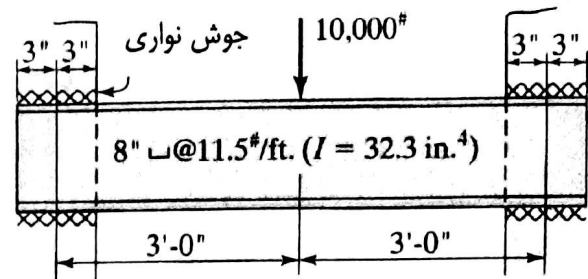
۶-۴ مسئله ۶-۲ را برای شکل (۶-۲۵) تکرار کنید.

۶-۵ دو انتهای تیر شکل (۶-۲۶) در روی تکیه‌گاههای ثابتی قرار دارند. اگر همه جوشها به یک اندازه باشند، مقدار ساق h لازم برای جوشهای نواری را جهت تحمل بار داده شده حساب کنید. از الکتروود $E6010$ استفاده شده است. مقدار ضریب اطمینان برابر با ۳ است. لازم است تیر در دو سر خود توسط جوش ثابت شود.

(جواب) $h = 0.38 \text{ in.}$



شکل ۶-۲۵



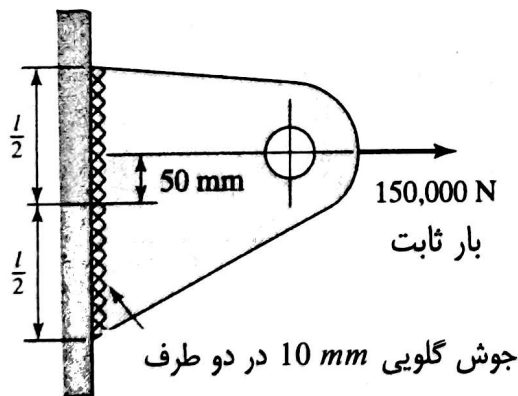
شکل ۶-۲۶

۶-۶ عمق تیر با مقطع I در شکل (۶-۲۷) برابر 300 mm است. عرض بال تیر 162 mm و ضخامت یکنواخت آن برابر با 9 mm است. این تیر با جوشهای لب به لب به تکیه‌گاههای ثابتی جوش داده شده است. فرض کنید ممان خمشی بوسیله جوشهای بال تیر، و نیروهای برشی توسط جوشهای جان تیر تحمل شوند. اندازه جوش بالهای تیر برابر با اندازه خود بالهاست. اگر تنش خمشی وارد بر بال تیر 80 MPa باشد، مقدار نیروی P را حساب کنید.

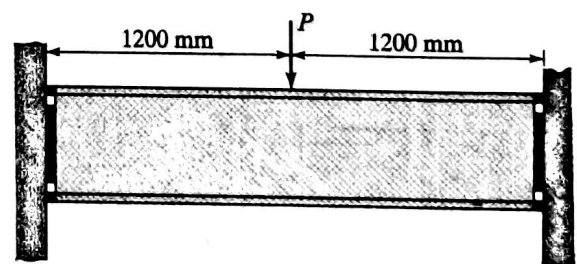
$$P = 109800\text{ N} \text{ (جواب)}$$

۶-۷ طول l لازم برای جوش شکل (۶-۲۸) را حساب کنید. از الکتروود $E6010$ استفاده شده است و F_S برابر با ۲ است.

$$l = 263\text{ mm} \text{ (جواب)}$$



شکل ۶-۲۸



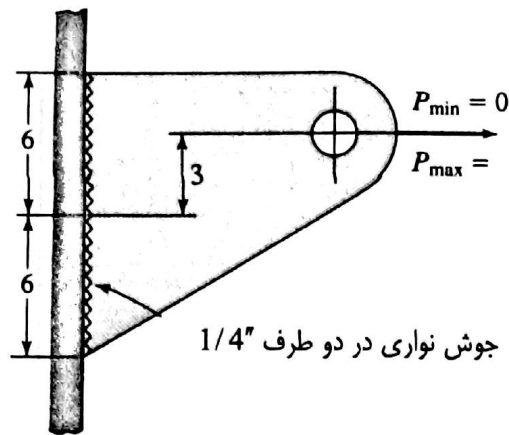
شکل ۶-۲۷

۶-۸ طول l لازم برای جوش شکل (۶-۲۹) را در صورتی که از الکتروود $E6010$ استفاده شده و F_S برابر ۲ باشد، حساب کنید. حد تحمل فلز جوش برابر با حد تحمل یک سطح حاصل از آهنگری و ضریب تمرکز تنش برابر با ۱.۵ است.

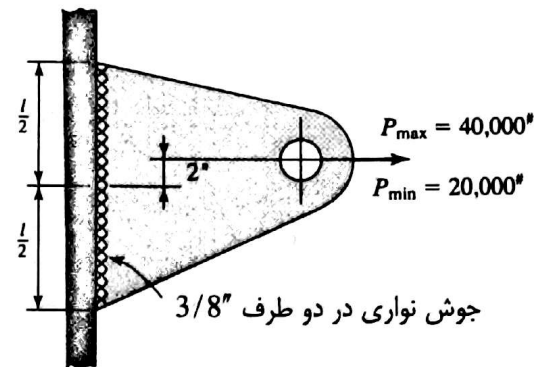
$$l = 18.9\text{ in.} \text{ (جواب)}$$

۶-۹ مقدار P_{max} را برای اتصال شکل (۶-۳۰) پیدا کنید. مقدار P_{min} برابر با صفر است. داده‌های دیگر مسئله مشابه داده‌های مسئله ۶-۸ فرض شود.

$$P_{max} = 7460\text{ lb} \text{ (جواب)}$$

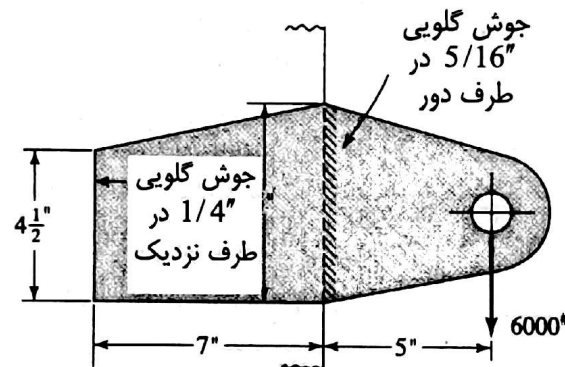


شکل ۶-۳۰



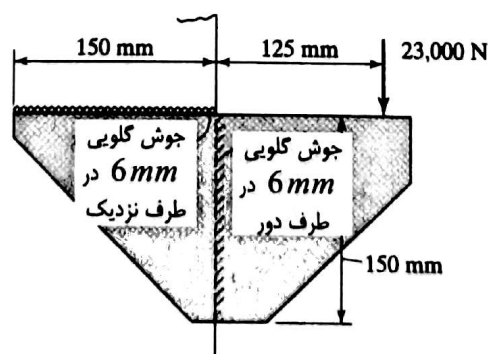
شکل ۶-۲۹

۶-۱۰ مقدار ضریب اطمینان نقطه‌ای از جوش شکل (۶-۳۱) را که در آن مقدار تنش بیشتر از دیگر نقاط است حساب کنید. استحکام سیلان فلز جوش برابر 50000 psi است. (جواب) $F_S = 2.95$



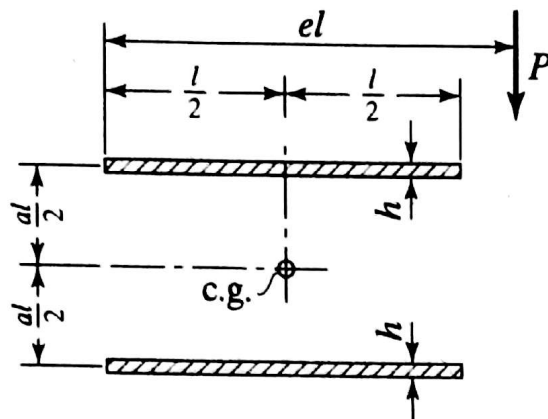
شکل ۶-۳۱

۶-۱۱ مقدار تنش حداکثر در اتصال شکل (۶-۳۲) را پیدا کنید. جوش شامل قسمت بالا و لبه قائم است. (جواب) $\sigma = 74.8 \text{ MPa}$

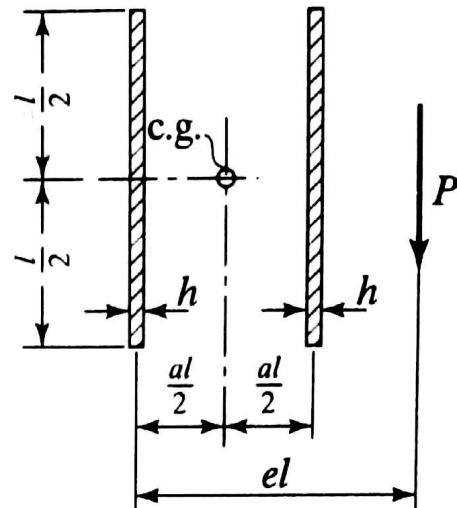


شکل ۶-۳۲

۶-۱۲ معادله‌ای برای تعیین مقدار حداکثر تنش در جوش شکل (۶-۳۳) بنویسید. فرض کنید A مساحت یکی از جوشها باشد. (جواب) $\sigma = \frac{P}{2A} \sqrt{K^2 + (1 + aK)^2}$, $k = \frac{3(2e - a)}{1 + 3a^2}$



شکل ۶-۳۴



شکل ۶-۳۳

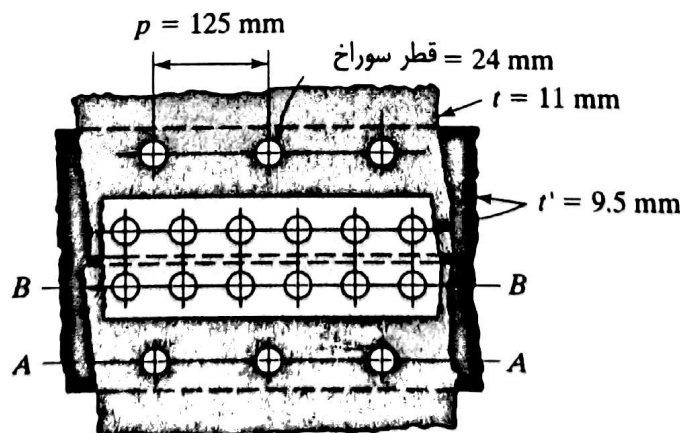
۶-۱۳ مسئله ۶-۱۲ را در مورد اتصال شکل (۶-۳۴) تکرار کنید.

$$\sigma = \frac{P}{2A} \sqrt{a^2 K_I^2 + (1 + K_I)^2}, \quad K_I = \frac{3(2e-1)}{1+3a^2} \quad (\text{جواب})$$

۶-۱۴ ۷ نیروهای مجاز برای طول گام 125 mm از اتصال پرچی دو ردیفه شکل (۶-۳۵) را براساس روشهای گسیختگی زیر حساب کرده و جدول بندی کنید. همچنین راندمان اتصال را بدست آورید.

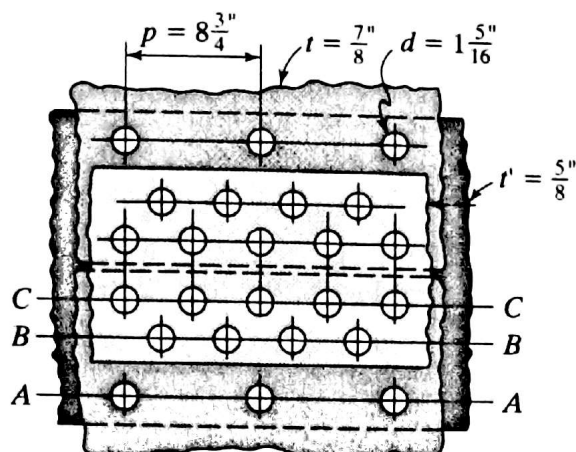
(a) کشش در مقطع $A-A$. (b) برش در پرچها. (c) لهیدگی در پرچها. (d) کشش در $B-B$ و برش در $A-A$. (e) کشش در مقطع $B-B$ و لهیدگی در $A-A$. (f) کشش در صفحه بدون سوراخ، استحکام نهایی صفحه فولادی تحت تنش کششی، 380 MPa ، و تحت تنش فشاری 655 MPa است. استحکام نهایی ماده پرچها در مقابل برش معادل 300 MPa است. ضریب اطمینان را برابر با ۵ فرض کنید.

(جواب) کشش در $A-A$ برابر با 84440 N ؛ راندمان $= 88.8\%$



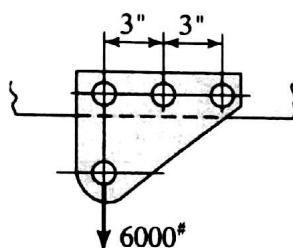
شکل ۶-۳۵

۶-۱۵ محاسبات انجام شده در مثال ۶-۶ را در مورد اتصال لب به لب شکل (۶-۳۶) که شامل سه ردیف پرچ است، انجام دهید. قطر مخزن را برابر با 60 in در نظر بگیرید. از تنش‌های داده شده در مثال ۶-۶ استفاده کنید. (جواب) کشش در $B-B$ و برش در $A-A$ ، 70860 lb ؛ راندمان $= 84.1\%$.

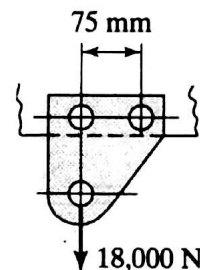


شکل ۶-۳۶

۶-۱۶ برای نیروهای هر یک از پرچهای اتصال (۶-۳۷) را حساب کنید.



شکل ۶-۳۸



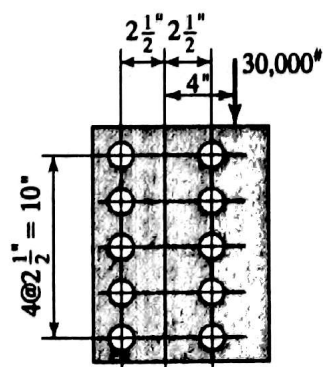
شکل ۶-۳۷

۶-۱۷ مسئله ۶-۱۶ را برای اتصال شکل (۶-۳۸) تکرار کنید.

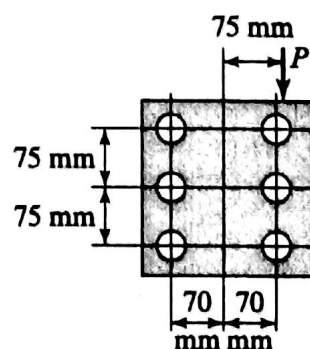
۶-۱۸ بار مجاز P را برای اتصال پرچی شکل (۶-۳۹) حساب کنید. تنش برشی برآیند برای پرچی که تنش آن حداکثر است، برابر با 100 MPa و قطر پرچها 25 mm است. (جواب) $P = 170270 \text{ N}$

۶-۱۹ مقدار تنش برشی پرچی را که در گروه پرچهای نشان داده شده در شکل (۶-۴۰) بیشترین بار را تحمل می کند، به دست آورید. قطر پرچها $3/4 \text{ in.}$ است. (جواب) $\tau = 12680 \text{ psi}$

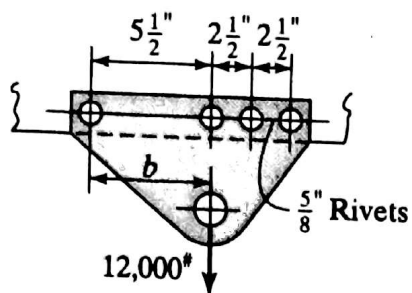
۶-۲۰ اگر مقدار ماکزیمم تنش برشی 100 MPa باشد، بار P مجاز را برای اتصال شکل (۶-۴۱) محاسبه کنید. قطر پرچها 20 mm است. (جواب) $P = 145460 \text{ N}$



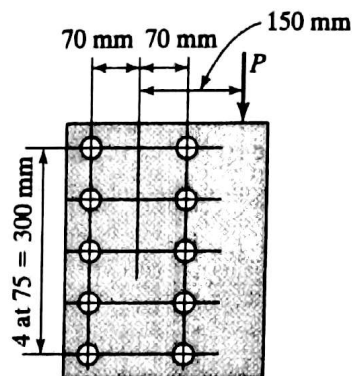
شکل ۶-۴۰



شکل ۶-۳۹



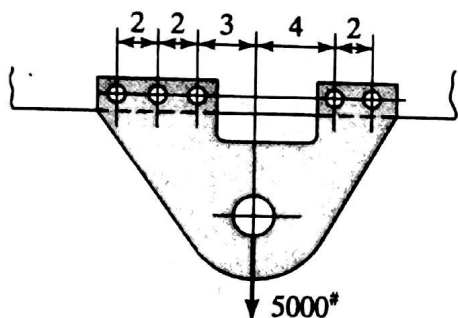
شکل ۶-۴۲



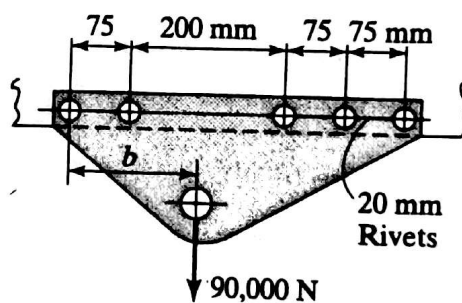
شکل ۶-۴۱

۶-۲۱ اگر حداکثر تنش برشی پرچی که بیشترین بار را تحمل می کند برابر با 13500 psi باشد، فاصله b را در شکل (۶-۴۲) حساب کنید.

۶-۲۲ مسئله ۶-۲۱ را برای شکل (۶-۴۳) تکرار کنید. تنش برشی حداکثر را برابر با 93 MPa فرض کنید.



شکل ۶-۴۴

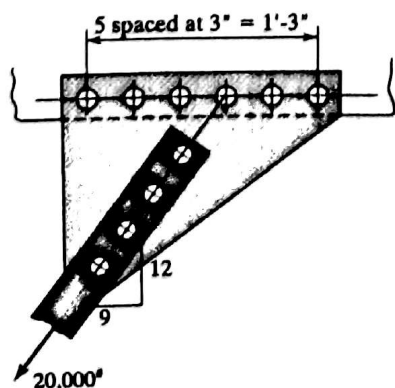


شکل ۶-۴۳

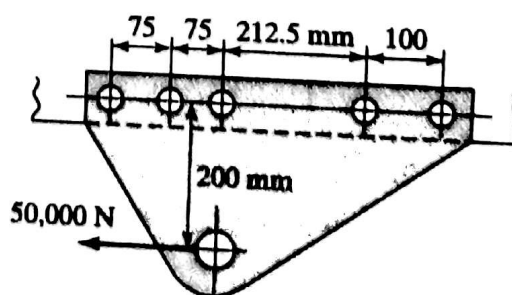
۶-۲۳ در شکل (۶-۴۴) نیروی پرچی را که بیشترین بار را تحمل می کند، پیدا کنید. (جواب) 1270 lb

۶-۲۴ در شکل (۶-۴۵) مقدار نیروی پرچی را که بیشترین بار را تحمل می کند پیدا کنید. (جواب) 20400 N

۶-۲۵ در شکل (۶-۴۶) مقدار نیروی پرچی را که بیشترین بار را تحمل می کند پیدا کنید. (جواب) 4300 lb



شکل ۶-۴۶

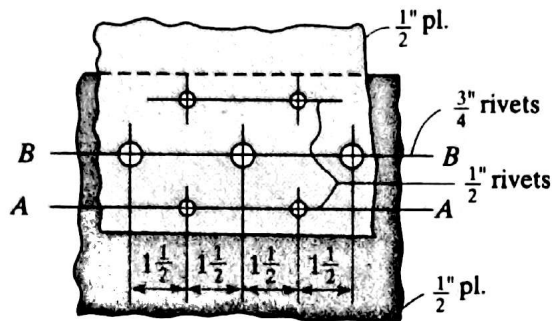


شکل ۶-۴۵

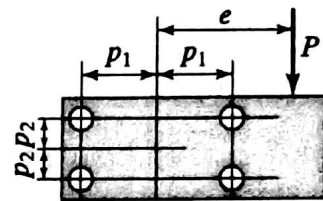
۶-۲۶ معادله‌ای بنویسید که حداکثر نیرو در پرچهای سمت راست در شکل (۶-۴۷) را بدست دهد.

$$F = \frac{P}{4} \sqrt{\frac{(e + p_1)^2 + p_2^2}{p_1^2 + p_2^2}} \quad (\text{جواب})$$

۶-۲۷ اتصال رویهم شکل (۶-۴۸) از صفحات و پرچهای فولادی (فولاد کربن) ساخته شده است. راندمان اتصال را براساس نیروی برشی پرچها در مقطع $A-A$ و نیروی کششی ورق در مقطع $B-B$ حساب کنید. از تنش‌های داده شده در مثال ۶-۶ استفاده کنید.



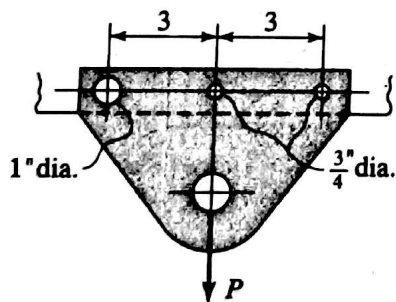
شکل ۶-۴۸



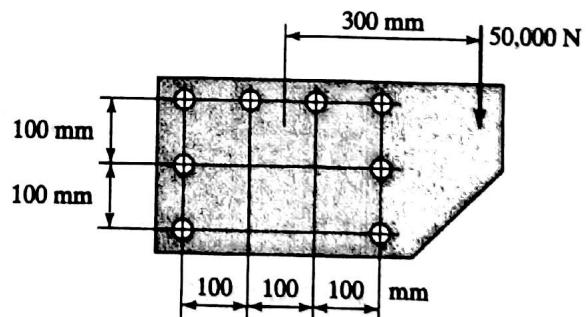
شکل ۶-۴۷

۶-۲۸ در شکل (۶-۴۹) برایند نیروهای وارد بر پرچی که بیشترین بار را تحمل می‌کند، حساب کنید.
(جواب) 20220 N

۶-۲۹ در شکل (۶-۵۰) اگر مقدار تنش برشی در پرچی که بیشترین بار را تحمل می‌کند برابر با 12000 psi باشد، مقدار P را حساب کنید.



شکل ۶-۵۰

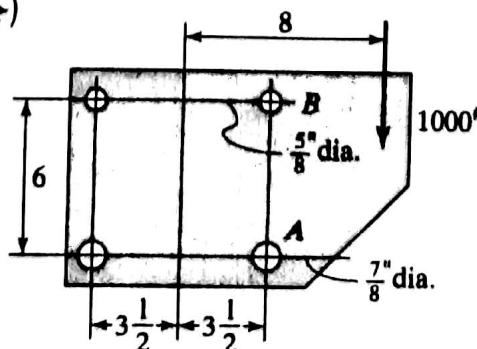


شکل ۶-۴۹

۶-۳۰ مقدار تنش برشی در مرکز پرچهای A و B را در شکل (۶-۵۱) بدست آورید.

(جواب) در B برابر با $\tau = 1568 \text{ psi}$

در A برابر با $\tau = 1382 \text{ psi}$



شکل ۶-۵۱

۶-۳۱ داده‌های مثال ۶-۷ را در نظر گرفته و نیروی منتجه هر یک از پرچها را محاسبه و رسم کنید. از هر یک از پرچها یک بردار شعاعی بطور عمود بر نیروی منتجه رسم کنید. توجه داشته باشید که همه این شعاعها در نقطه‌ای بنام قطب (مرکز آنی چرخش) همدیگر را قطع می‌کنند. یادآور می‌شویم که هر یک از نیروهای منتجه با فاصله خود نسبت به قطب متناسب است.

۶-۳۲ در شکل (۶-۲۱) فرض کنید فاصله عرضی بین دو پرچ برابر با 8 in. و ارتفاع قائم برابر با 6 in. باشد. محل مرکز آنی چرخش را تعیین کنید. (جواب) 4.546 in. به سمت چپ مرکز

۶-۳۳ سیستم نیروهای وارد بر پرچهای مثال (۶-۷) را در نظر بگیرید. از پرچ A خط قائمی رسم کنید و ببینید در کجا خط افقی گذرنده از مرکز گرانش را قطع می‌کند. سپس نیروی برآیند وارد بر پرچی را که در بالای A قرار دارد به دست آورید. خط قائم یاد شده را با این نیرو قطع بدهید و توجه داشته باشید همان نقطه ای را قطع می‌کند که برای پرچ A تعیین شد. (جواب) 3.600 in به سمت چپ مرکز گرانش

۶-۳۴ یک اتصال جوشی شبیه شکل (۶-۳۱) در نظر بگیرید. فرض کنید طولهای قائم جوشها در سمت چپ برابر با 6 in و در سمت راست برابر با 8 in باشد. ساق جوشهای نواری برابر با $3/8\text{ in}$ است. بقیه ابعاد مطابق شکل (۶-۳۱) است. مقدار تنش حداکثر را به دست آورید. (جواب) $\tau = 5256\text{ psi}$

۶-۳۵ یک اتصال جوشی شبیه شکل (۶-۳۱) در نظر بگیرید. فرض کنید طولهای قائم جوشها در سمت چپ برابر با 5 in و در سمت راست برابر با 7 in باشد. ساق جوشهای نواری برابر با $5/16\text{ in}$ است. بقیه ابعاد مطابق شکل (۶-۳۱) است. مقدار حداکثر تنش را به دست آورید. (جواب) $\tau = 7260\text{ psi}$

۶-۳۶ اتصال جوشی شکل (۶-۳۲) را در نظر بگیرید. جوشهای نواری قائم و افقی را $1/4\text{ in.}$ فرض کنید. بار وارده برابر با 5000 lb است. ابعاد افقی 6 in. و 5 in. هستند. بعد قائم 6 in است. مقدار تنش حداکثر را تعیین کنید. (جواب) $\tau = 10680\text{ psi}$

۶-۳۷ یک اتصال جوشی شبیه شکل (۶-۳۲) در نظر بگیرید. جوشهای نواری قائم و افقی $5/16\text{ in.}$ هستند. فرض کنید ابعاد افقی 7 in و 6 in باشند. بعد قائم 7 in و بار وارده 5000 lb است. مقدار تنش حداکثر را به دست آورید. (جواب) $\tau = 7460\text{ psi}$